



***Universidad de Pinar del Río***  
***"Hermanos Saiz Montes de Oca"***  
***Facultad de Forestal y Agronomía***



***Comportamiento de Albizia***  
***lebbbeck (L) Benth en condiciones***  
***de vivero con suelos débilmente***  
***salinos del municipio de Río***  
***Cauto, Provincia de Granma***

**Tesis presentada en opción al**  
**título académico de**  
**Máster en Ciencias Forestales**

**Mención Manejo de Bosques**

**Autor**

**Ing. Giosvany Y. Oliva Arias**

**2013**

**"Año 55 de la Revolución"**

***Universidad de Pinar del Río  
"Hermanos Saiz Montes de Oca"  
Facultad de Forestal y Agronomía***

***Comportamiento de Albizia lebbeck (L) Benth en condiciones de  
vivero con suelos débilmente salinos del municipio de Río Cauto,  
Provincia de Granma***

**Tesis presentada en opción al título académico de  
Máster en Ciencias Forestales  
Mención Manejo de Bosques**

**Autor  
Ing. Giosvany Y. Oliva Arias**

**Tutor  
Dr C. Eduardo González Izquierdo**

**2013  
"Año 55 de la Revolución"**

# *Pensamiento*

*Si una persona sabe lo que desea de la vida cumple todos los requisitos para conseguir realizar un sueño.*

*PAULO COELHO*

*Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica. Esa fuerza es la voluntad*

*- Anónimo*

# *Dedicatoria*

- ✓ *A la memoria de mi madre.*
- ✓ *A mi hermano para que le sirva como fuente de inspiración para que no deje de superarse nunca.*

# *Agradecimientos*

- ✓ A mi novia Ana Yesenia por su ayuda y apoyo incondicional.
- ✓ A mi padre por estar siempre ahí.
- ✓ A mi familia que sin ellos nada pudiera ser posible
- ✓ A Cari por sus consejos
- ✓ A mis tutores; Dr C. Eduardo González Izquierdo y MSc. Lucía Maribel Medina Malagón
- ✓ A mis compañeros de trabajo en la UDG
- ✓ A mis eternos profesores, colegas y amigos del Dpto Forestal de la UPR
- ✓ Al MSc. José Luis Rodríguez Sosa
- ✓ A los doctores Lazara Otero y Héctor Barredo Medel
- ✓ A mis amigos, no podría mencionarlos a todos, lo viejos, los nuevos y los que están por llegar, ustedes saben cuanto los quiero y aprecio.
- ✓ A todos los que de una forma u otra han contribuido en la materialización de esta investigación, no importa que no los haya mencionado ustedes saben que están en mi corazón.

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el comportamiento, en vivero, de *Albizia lebbbeck* (L) Benth en suelos débilmente salinos del municipio de Río Cauto, provincia de Granma. Sobre la base de un diseño completamente aleatorizado, la investigación tuvo en cuenta 3 muestras de diferentes procedencias geográficas y aunque con un mismo nivel de salinidad si con diferentes conductividades eléctricas y una muestra patrón evaluada como no salina. Se determinó la composición química de las muestras y para determinar el poder germinativo de la especie se tuvieron en cuenta 2 tratamientos ajustados a diferentes conductividades eléctricas. La concentración de iones no influyeron significativamente en la germinación de la especie, el poder germinativo fue de un 72 % y se alcanzó un 92 % de semillas germinadas. La calidad de las plantas quedo influenciada por la salinidad del suelo ya que los indicadores de calidad evaluados fueron superiores en el suelo no salino. El modelo que mejor representó el crecimiento de la especie en la etapa de vivero fue la exponencial:  $H = 2.999 * t^{0.0054t}$

**Palabras clave:** suelos débiles salinos, poder germinativo, germinación, crecimiento

## ABSTRACT

The present study aims to assess the behavior, in the nursery, of *Albizia lebbbeck* (L) Benth weakly saline soils in the municipality of Río Cauto, Granma Province. On the basis of a completely randomized design, research took into account 3 samples from different geographical and even with the same level of salinity if with different electrical conductivities and a standard sample assessed as saline. We determined the chemical composition of the samples and to determine the germination of the species were taken into account 2 treatments tailored to different electrical conductivities. Ion concentration did not significantly affect the species germination; power germination was 72% and reached 92% of germinated seeds. The quality of the plants remained influenced by soil salinity and quality indicators assessed were higher in non saline soil. The model that best represented the growth of the species in the nursery stage was the exponential:  $H = 2.999 * e^{0.005 * t}$

**Key words:** weak saline soils, power germination, germination, growth

## ÍNDICE

Nº	Título.....	Pág.
	<b>Introducción</b>	1
<b>I.</b>	<b>Revisión Bibliográfica</b>	5
1.1	Distribución y extensión de las áreas afectadas por sales	5
1.1.1	Situación mundial	5
1.1.2	Situación en Cuba	5
1.2	Causas que provocan la salinidad	7
1.3	Clasificación de los suelos salinos	8
1.4	Características generales de la salinidad y los suelos salinos	9
1.5	Comportamiento de las especies vegetales ante la presencia de altas concentraciones de iones en los suelos. Tolerancia de las plantas. Mecanismos que interviene	9
1.5.1	Efectos de las altas concentraciones de iones sobre las plantas	9
1.5.2	Efecto osmótico	10
1.5.3	Toxicidad iónica	10
1.5.4	Efectos nutricionales	11
1.5.5	Tolerancia a las altas concentraciones de iones en las plantas	12
1.5.6	Descripción de algunos mecanismos de absorción	13
1.5.6.1	Absorción de agua	13
1.5.6.2	Absorción de iones. Extrusión del sodio	14
1.5.6.3	Translocación de iones	15
1.6	Mejora de la tolerancia al estrés salino	15
1.7	Métodos de estudio del efecto de las sales en las plantas	16
1.8	Uso de especies forestales en la rehabilitación de suelos salinos	16
1.9	Calidad de la planta forestal en vivero	18
1.10	Atributos utilizados para evaluar la calidad de la planta	19
1.10.1	Atributos materiales o directamente medibles	19
1.10.1.1	Atributos morfológicos	20
1.10.1.2	Atributos morfológicos del sistema radical	21
1.10.1.3	Índices morfológicos	22
1.11	Características de la especie <i>Albizia lebbbeck</i> (L) Benth	23
<b>II.</b>	<b>Materiales y Métodos</b>	25
2.1	Condiciones experimentales	25
2.2	Caracterización química de las muestras de suelo empleadas	25
2.3	Condiciones climáticas	26
2.4	Ensayo de germinación en el laboratorio	26
2.5	Siembra y riego	27
2.6	Ensayo de germinación en el vivero	27
2.7	Caracterización de los atributos morfológicos de la planta	28
2.7.1	Determinación de los parámetros morfológicos	28



2.7.1.1	Altura	28
2.7.1.2	Diámetro del cuello de la raíz	29
2.7.1.3	Peso seco aéreo, peso seco radical y peso seco total	29
2.7.2	Atributos morfológicos del sistema radical	30
2.7.2.1	Longitud de la raíz principal	30
2.7.2.2	Número de raíces primarias y secundarias	30
2.7.3	Índices morfológicos	30
2.7.3.1	Relación PA/PR	30
2.2.3.2	Índice de Esbeltez	30
2.7.3.3	Índice de calidad de Dickson	31
2.7.3.4	Balance Hídrico de la Planta	31
2.8	Dinámica del crecimiento	31
2.9	Análisis estadístico realizado	32
<b>III.</b>	<b>Análisis y Discusión e los Resultados</b>	33
3.1	Análisis de la caracterización química de los suelos empleados	33
3.2	Condiciones climáticas	38
3.3	Germinación	39
3.3.1	Descripción del proceso de germinación de las semillas	39
3.3.2	Prueba de germinación	40
3.3.3	Germinación en el vivero	40
3.3.4	Comportamiento de la germinación	42
3.4	Características de los atributos de la calidad de la planta	45
3.4.1	Determinación de los parámetros morfológicos	45
3.4.1.1	Altura	45
3.4.1.2	Dinámica del crecimiento en altura	48
3.4.1.3	Diámetro del cuello de la raíz	50
3.4.1.4	Peso seco aéreo, peso seco radical y peso seco total	51
3.4.2	Atributos morfológicos del sistema radical	53
3.4.2.1	Longitud de la raíz principal	54
3.4.2.2	Numero de raíces primarias y secundarias	55
3.4.3	Índices morfológicos	57
3.4.3.1	Relación PA/PR	57
3.4.3.2	Índice de Esbeltez	58
3.4.3.3	Índice de calidad de Dikson	59
3.4.3.4	Balance Hídrico de la Planta	60
	<b>Conclusiones</b>	61
	<b>Recomendaciones</b>	62
	<b>Bibliografía</b>	
	<b>Anexos</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Datos climáticos del municipio de Río Cauto en el 2012.....	26
Tabla 2. Muestras de suelo utilizadas en el experimento.....	28
Tabla 3. Comportamiento de la germinación cada dos días.....	42
Tabla 4. Semillas germinada, acumuladas por tratamiento .....	44
Tabla 5. Resultados estadísticos del análisis de altura y diámetro del cuello de la raíz.....	45
Tabla 6. Valoraciones estadísticas de peso seco aéreo (PSA), peso seco radical (PSR), peso seco total (PST).....	51
Tabla 7. Análisis estadístico de los atributos morfológicos del sistema radical.....	54
Tabla 8. Procesamiento estadístico de los índices morfológicos.....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación del vivero Cauto Embarcadero.....	25
Figura 2. Conductímetro HANNA HI 9033.....	27
Figura 3. Medición de la altura.....	29
Figura 4. Medición del diámetro del cuello de la raíz.....	29
Figura 5. Climograma.....	39
Figura 6. Representación gráfica de la germinación obtenida en ambos experimentos.....	40
Figura 7. Semillas germinadas de <i>Albizia lebbbeck</i> , en envases de polietileno negro.....	41
Figura 8. Comportamiento de la germinación de la especie cada dos días.....	43
Figura 9. Germinación acumulada de <i>Albizia lebbbeck</i> en suelos salinizados en condiciones de vivero.....	45
Figura 10. Curvas de normalidad del crecimiento en altura de la especie en cm en cada uno de los tratamientos.....	47
Figura 11. Tendencia de la altura en el tiempo.....	48
Figura 12. Distribución de los residuos del modelo ajustado.....	49
Figura 13. Altura alcanzada por las plantas a los tres meses en el vivero.....	50
Figura 14. Muestra de las raíces principales y finas.....	56
Figura 15. Esbeltez alcanzada por la plantas.....	60

# *Introducción*

## INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas clásicos de degradación de la tierra que ha tenido que enfrentar el hombre, ha sido el de controlar, prevenir o mejorar los suelos afectados por la salinidad. La evaluación de la salinidad en los suelos, permite diferenciar el estado en que este proceso puede limitar el funcionamiento de los mismos, además, contribuye a la toma de decisiones respecto al empleo de alternativas de manejo o mejoramiento específico (Otero *et al.*, 2007)

En las regiones áridas, semi áridas y estepas, donde la evaporación es mayor que las precipitaciones, se ubican las regiones más afectadas por sales (Kovda, 1964; citado por Obregón, 1996). También puede aparecer en lugares con prolongados periodos de sequía, como en zonas climáticas templadas, secas y trópicos secos. Otros lugares donde es posible encontrar suelos con problemas, son los cercanos al mar (costas, lagunas, litorales y pantanos), o bien en la cercanía de domos salinos, manantiales de aguas salinas y mantos freáticos salinos. De acuerdo a Flores (1993), la salinidad en forma natural (primaria), está ampliamente distribuida en el globo terráqueo y se incrementa a medida que se presentan cambios climáticos mayores; procesos geomorfológicos de sedimentación, erosión y redistribución de materiales; así como cambios en la hidrología superficial y subterránea.

Además de las extensas áreas de suelos con salinidad primaria en el mundo, en los últimos años se ha incrementado considerablemente la salinidad secundaria en extensos territorios, debido fundamentalmente a los efectos del regadío, donde para garantizar el suministro de agua y tener agricultura, se ha implantado el riego, sin haber previsto la instalación de sistemas de drenaje, lo que ha conllevado al incremento de la salinidad de los suelos, por la ascensión de las sales que se encontraban localizadas por debajo de los 20 cm de profundidad, intensificado por las particularidades climáticas que aumentan su concentración en el suelo (Otero *et al.*, 2007). Los cambios hidrológicos provocados por la deforestación o por el cultivo intensivo, también son causas importantes de la salinidad. Siempre que los

suelos posean problemas de salinidad, en la zona radicular de las plantas, es restringido o totalmente imposible su crecimiento y desarrollo.

En Cuba el problema de la salinidad de los suelos se ha extendido de manera significativa, valorándose que más de un millón de hectáreas, alrededor del 14 % de las áreas cultivadas, se encuentran afectadas (Anuario Estadístico, 2006). Las zonas más representativas se encuentran en la provincia de Granma con alrededor de 228 mil hectáreas, de ellas cerca del 28 y 11 %, se clasifican como fuertemente y muy fuertemente salinizadas respectivamente, además el 61 % de las tierras de la provincia son débilmente salinas, lo cual expresa el potencial crecimiento de este fenómeno en los próximos años (González *et al.*, 2001).

El efecto más común de la salinidad sobre las plantas es la reducción del desarrollo debido a una disminución del potencial osmótico del medio, y en consecuencia una disminución del potencial hídrico del suelo; una toxicidad específica, normalmente asociada a la absorción excesiva de  $\text{Na}^+$  y de  $\text{Cl}^-$ ; un desequilibrio nutricional debido a la interferencia de los iones salinos con los nutrientes esenciales; y la combinación de los efectos antes indicados (Acevedo, 2003).

Diversos métodos han sido utilizados para disminuir las afectaciones por sales de los suelos y aumentar su calidad agroproductiva, sin embargo, muchos de estos se caracterizan por sus altos costos, y en otros casos, por traer problemas secundarios como la sodicidad e incluso la afectación del medioambiente (Gómez *et al.*, 2008), razones por las cuales, existen tendencias de incluir métodos biológicos y de manejo agrotécnico como el uso de microorganismos, la rotación de cultivos, el uso de materiales orgánicos y abonos verdes, y la utilización de especies que presenten ciertos niveles de tolerancia, sustituyendo aquellas con mayor susceptibilidad (González y Torres, 2002).

Son varias las especies vegetales que se han utilizado para disminuir el nivel de salinización de los suelos así como otros problemas que provocan la degradación de los mismos. En la región semiárida del valle de Guantánamo se evaluaron

especies como: *Kochia scoparia* como forrajeras y *Crotalaria juncea* como abono verde (Limeres, 2000).

En la provincia de Granma el Programa de Desarrollo Forestal hasta el 2015 dentro de sus prioridades considera el manejo de áreas con fines de protección y conservación, que contemplan las áreas con riesgo de algún tipo de erosión ya que con la situación actual aún subsisten grandes zonas degradadas con altos índices de salinidad, así como la existencia de situaciones extremas de sequía y salinidad fuerte. Como consecuencia de los impactos del cambio climático aparecen zonas de alta prioridad como es el municipio de Río Cauto mismo donde se ha proyectado el fomento de especies tolerantes a la salinidad.

Entre las especies arbóreas que se planea utilizar se encuentra *Albizia lebbbeck* (L) Benth la cual se adapta en un amplio rango de temperaturas según el lugar donde esté ubicada; reportándose que es capaz de soportar la fuerte salinidad. Para estos fines se ha observado que es una especie bastante plástica pues es resistente al fuego, demanda luz, moderada resistencia a la sequía; fija nitrógeno, toleran la compactación del suelo, sistema radical profundo, controla la erosión, además es conocida la importancia actual y potencial de las especies de algarrobo como proveedoras de madera de alta calidad; como componentes estructurales de sistemas productivos sustentables en amplias áreas marginales del país y como proveedores de estabilidad a ecosistemas áridos y semiáridos, impidiendo o revirtiendo procesos de desertificación.

Considerando lo anterior esta investigación pretende darle solución al siguiente **Problema:** ¿Cómo lograr un establecimiento eficiente de *Albizia lebbbeck* (L) Benth en plantaciones con suelos débilmente salinos?

**Objeto:** Establecimiento de *Albizia lebbbeck* (L) Benth en vivero

**Campo de Acción:** Comportamiento de *Albizia lebbbeck* (L) Benth en vivero.

**Hipótesis:** Si se determina la influencia de la salinidad del suelo en la germinación y los atributos e índices morfológicos de la planta cultivadas en suelos salinizados,

entonces se tributará al logro de un establecimiento eficiente en plantaciones de *Albizia lebbbeck* (L) Benth con suelos débilmente salinos.

**Objetivo General:** Evaluar el comportamiento, en vivero, de *Albizia lebbbeck* (L) Benth en suelos débilmente salinos.

**Objetivos Específicos:**

1. Determinar la influencia de la salinidad del suelo en la germinación de *Albizia lebbbeck* (L) Benth.
2. Determinar los atributos e índices morfológicos de las plantas de *Albizia lebbbeck* (L) Benth, cultivadas en suelos débilmente salinos.

**Aporte Práctico**

El establecimiento de patrones de calidad para el cultivo de *Albizia lebbbeck* (L) Benth, en suelos débiles salinos.



# *Revisión Bibliográfica*

## **CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **1.1 Distribución y extensión de las áreas afectadas por sales**

#### **1.1.1 Situación mundial**

Millones de hectáreas en el mundo están afectadas por salinidad y todos los años se vuelven improductivas o menos productivas por el efecto de la acumulación de sales. Existe una amplia distribución de los suelos salinos y salinizados a nivel mundial; destacándose que los mismos ocupan entre un 40 - 50 % de toda el área del planeta. Al respecto se ha planteado que su extensión crece a razón de 3 ha/año y que actualmente se contabilizan alrededor de 953 millones de ha en diferentes regiones del mundo y muchas de estas están distribuidas, fundamentalmente, en las regiones tropicales (Mert *et al.*, 2008; citados por Chávez y Álvarez, 2011).

Entre los países más afectados por esta problemática se encuentran los del golfo Árabe Pérsico, Mongolia, India, China y la antigua Unión Soviética; aunque no se puede descartar Australia y algunos países de América y África. La manifestación de este fenómeno en América tiene sus particularidades, la mayor cantidad de áreas salinizadas se encuentra en América del Sur con 69 millones de hectáreas, aunque en América del Norte y Centro América, las áreas no superan los 10 millones de hectáreas, la tendencia al aumento de las mismas es evidente (Mashaly, 1999; Rhoades y Loveday, 2004).

#### **1.1.2 Situación en Cuba**

En Cuba, el 14% de las áreas cultivables se encuentran afectadas por la salinidad, que representa una extensión mayor de 1 millón de ha, estando involucradas la mayoría de las áreas que se dedican a la producción de cultivos importantes para la alimentación humana y animal y cerca del 15% presenta peligros potenciales de salinización. Estas áreas se localizan fundamentalmente en llanuras aluviales de los principales ríos en las provincias de Guantánamo, Granma, Holguín y Camagüey. Entre las zonas más afectadas por este fenómeno se encuentran, en la parte occidental Pinar del Río con más de 54 mil ha, en el centro – oriente del país Santi Spiritus y Camaguey con más de 100 mil y 140 mil ha respectivamente. Sin

embargo, solo en la región oriental del país se concentra más del 65 % de las áreas afectadas, siendo las provincias de Guantánamo y de Granma las más significativas esta última con 228 mil ha representando el 23 % del área total en el país y de ellas, el 61 % están clasificadas como medianamente salinas, existiendo un espacio importante para las áreas fuertemente salinas (28 %) y un 11 % muy fuertemente salinizadas (González, 2005).

El municipio de Río Cauto, al noroeste de la provincia Granma, posee una fértil llanura con una extensión del río de 132 km y un área de 1505 km<sup>2</sup>. En él habitan 47,891 personas que dependen del agua del río. Es una zona de extensas áreas cultivables; de ellas, 28,306 ha se dedican al cultivo del arroz; 18,855 al cultivo de caña de azúcar; 9800 a ganadería y 18,300 ha con bosque, incluyendo más de mil ha de plantaciones en fase de establecimiento (Linares, s.a).

Según Linares, (s.a) al principio del siglo XX, el municipio contaba con una cobertura forestal del 56%. Con el desarrollo de las actividades agropecuarias, se redujeron las zonas con cubierta forestal al punto que, en 1960, sólo existía una cobertura forestal del 6 % del territorio. La sobreexplotación de las tierras, el uso desmedido del riego artificial que contribuyó grandemente a la erosión de los suelos y a la salinización de las tierras obligó, 15 años atrás, a tomar la decisión de trabajar para restaurar la cobertura forestal, desarrollar un fuerte programa de reforestación, dictar medidas de preservación de los cauces de aguas y trabajar por la reforestación de las fajas hidrológicas. El proceso de degradación llegó a su punto culminante en 1993, las tierras estaban totalmente desprovistas de cobertura forestal, con un alto grado de degradación y la penetración salina en el cauce llegaba 77 km río adentro de la desembocadura. Como consecuencia, se buscó elevar la cobertura forestal de la cuenca dentro del municipio a un 9% en 1995, para llevarla al 18 % en 2015.

El Valle del Cauto en la provincia de Granma tiene una extensión aproximada de 4,000 km<sup>2</sup>, y más de la mitad de sus tierras están afectadas en determinado grado por la acumulación de sales en el suelo (López *et al.*, 2011). Por estas razones se han desarrollado investigaciones encaminadas a la recuperación y manejo de estos suelos, usando métodos que conllevan al uso de variedades tolerantes y resistentes

a altos tenores de sales (López *et al.*, 1999). Por lo que en ocasiones, no siempre es posible la utilización de cultivares, se hace necesario recurrir a otros métodos, que aunque costosos, garantizan en buena medida la recuperación de las condiciones físicas y químicas de los suelos.

## 1.2 Causas que provocan la salinidad

Mundialmente se toman en cuenta dos conceptos básicos sobre el proceso de salinización de los suelos; uno en el cual se contemplan los elementos naturales como la principal causa de salinización, llamada **salinidad primaria**, apareciendo en primera instancia el término de Cambio Global, por las consecuencias que el mismo trae sobre otros elementos en la naturaleza. En el otro concepto, se encuentran los procesos geomorfológicos de sedimentación, erosión y redistribución de materiales, así como cambios en la hidrología superficial y subterránea.

Al romperse el equilibrio entre el volumen de precipitaciones y la evaporación del suelo, se producen alteraciones y movilización de las sales en él, lo cual ocurre si los índices de evaporación superan a los índices de lluvias. Por esta razón, se pueden localizar las áreas afectadas por sales en zonas áridas, semiáridas y las estepas. Sin embargo, de forma natural también pueden aparecer en lugares cercanos al mar como costas, lagunas, litorales, pantanos, domos salinos y lugares que presentan manantiales y mantos freáticos salinos cercanos a la superficie (Carvajal *et al.*, 1999).

Otra forma de producirse salinidad en los sistemas agrícolas es a través de los efectos del regadío, el uso de aguas de mala calidad, el drenaje restringido, la baja permeabilidad del suelo y el mal uso de la fertilización; en esta manifestación del proceso de salinización el factor común es el hombre. A este tipo de salinidad se le llama **salinidad secundaria**.

De cualquier forma que ocurra, o independientemente de las causas que lo originen el proceso de salinización presenta los mismos principios debido a que básicamente se produce una acumulación de sales solubles, principalmente de sodio en los horizontes superiores del suelo.

Otro hecho básico consiste en que para definir o caracterizar la salinidad, nunca debe tenerse en cuenta un solo factor o variable ambiental y/o edáfica, ya que la influencia de estos no es lineal ni estable, en el tiempo y el espacio, y por demás, se producen interacciones entre ellas haciendo variar el contenido y tipo de sales. Desde el punto de vista edáfico, el contenido y tipo de arcilla, el contenido de elementos, como es el caso de los óxidos de hierro y aluminio, y el contenido de materia orgánica, pueden traer variaciones en las concentraciones y porcentajes de sodio del suelo. Los suelos salinos presentan sales solubles en agua, en las fases líquida o sólida o en forma de bases de cambio en cantidades que afectan la fertilidad, con influencia negativa sobre el crecimiento y desarrollo de la mayoría de las especies cultivables.

En el marco del Seminario Cuba - México, Flores (1996) planteó que... la salinidad de un suelo es el resultado de procesos naturales y/o antrópicos presentes en todos los suelos que conducen en menor o mayor grado a una acumulación de sales que pueden afectar la fertilidad del suelo...

### 1.3 Clasificación de los suelos salinos

Existen varias clasificaciones que dan nombre a los suelos salinos entre ellas se destacan, la clasificación rusa la cual los separa en tres tipos: solonchak, solonetz y solod (Guerasimov y Glazovskaia, 1960), sin embargo, la clasificación norteamericana nombra a estos tipos de suelos como *salinos*, *sódicos* y *salino-sódicos* (Follet *et al.*, 1981). Debido a la gran relación que existe entre ambas clasificaciones, Obregón (1996) estableció las siguientes semejanzas, solonchaks-salinos, solonetz-sódicos y solod-salino-sódicos.

No obstante Hernández *et al.*, (2005), al establecer correlaciones entre la Nueva Versión de Clasificación de los suelos de Cuba y las clasificaciones internacionales, los ubican en el Agrupamiento de Suelos Halomórficos, al tipo salino y los sódicos en el tipo solonetz (4ta clasificación) que correlaciona con el grupo de suelos solonchaks y solonetz en la clasificación de la FAO (FAO, ISRIC y SICS, 1999).

Sin embargo Royo y Aregues (2003), han establecido una clasificación teniendo en cuenta los niveles relativos de salinidad sobre la base de la conductividad eléctrica.

## **1.4 Características generales de la salinidad y los suelos salinos**

Según Gómez (2009) para clasificar, diagnosticar y/o caracterizar los suelos salinos hace falta tener en cuenta las características físicas, entre las que se encuentran la composición granulométrica, la distribución de la arcilla en el perfil y la degradación de su contenido en el horizonte solonetizado, la permeabilidad hídrica de los suelos salinos y/o sódicos la cual está relacionada con la densidad, deformación de la dilatación y la dispersión.

De igual forma es indispensable tener en cuenta las características químicas entre las cuales está, el contenido de iones del suelo, en especial aquellos que más influyen en la curva de dependencia entre el potencial hídrico y la humedad entre los cuales se encuentran los cationes  $Mg^{2+} > Na^{+} > Ca^{2+}$  y los iones sulfatos ( $SO_4$ )  $> Cl$ , la conductividad eléctrica y el pH entre las más importantes. Es importante señalar que entre las condiciones físicas y químicas de los suelos salinos existe una estrecha interrelación donde generalmente la parte química condiciona la física, como es el caso de la salinidad primaria, o viceversa como en el caso de la salinidad secundaria (Gómez, 2009).

## **1.5 Comportamiento de las especies vegetales ante la presencia de altas concentraciones de iones en los suelos. Tolerancia de las plantas. Mecanismos que intervienen**

### **1.5.1 Efecto de las altas concentraciones de iones sobre las plantas**

Las altas concentraciones de iones provocan diversos efectos perjudiciales que afectan tanto al suelo agrícola, como a las plantas. Entre los primeros, es sabido que los cationes  $Na^{+}$  desplazan el  $Ca^{2+}$  del complejo arcillo - húmico y degradan la estructura del suelo, mientras que entre los efectos más obvios de estas altas concentraciones en las plantas se destacan la supresión del crecimiento, la aparición de daños en las hojas y la disminución del rendimiento y la calidad comercial de las cosechas descrito en una amplia acepción (Gómez, 2001).

El efecto más común de estas altas concentraciones de iones sobre las plantas es la reducción del desarrollo debido a: una disminución del potencial osmótico del medio

y, en consecuencia una disminución del potencial hídrico del suelo; una toxicidad específica, normalmente asociada a la absorción excesiva de  $\text{Na}^+$  y de  $\text{Cl}^-$ ; un desequilibrio nutricional debido a la interferencia de los iones salinos con los nutrientes esenciales; y la combinación de los efectos antes indicados. Como consecuencia de estos efectos primarios, a menudo ocurren otros estreses secundarios, como el daño oxidativo (Acevedo, 2003).

Las plantas disponen de complejos mecanismos moleculares de respuesta a estos efectos de la salinidad, que incluyen biosíntesis de solutos compatibles, control del flujo hídrico, y transporte de iones para restablecer la homeostasis (González *et al.*, 2001).

### **1.5.2 Efecto osmótico**

Este efecto está relacionado con la disminución del potencial osmótico del agua en el suelo, originado por la presencia de las sales disueltas. Esto produce en la planta una disminución de la capacidad de las raíces para absorber agua del medio. En un principio, la reducción del rendimiento por las altas concentraciones de iones se relaciona con la alteración en el balance del agua. Isla y Royo (2001), observaron que las hojas de cebada reducían su crecimiento a los pocos minutos de iniciar la salinización de forma proporcional a la disminución del potencial osmótico de la solución externa. En este contexto, es necesario señalar que el tipo de sales predominantes en el medio influye de un modo distinto en el desarrollo de las plantas. A igualdad del potencial osmótico en el medio, las sales con predominio de cloruro son generalmente más tóxicas que las del sulfato. Entre los cationes, el  $\text{Mg}^{2+}$ , es más tóxico que el  $\text{Ca}^{2+}$  o el  $\text{Na}^+$  (Ben *et al.*, 2003).

### **1.5.3 Toxicidad iónica**

La presencia de iones tóxicos en los tejidos de las plantas, a niveles de concentración superiores a los tolerados origina lesiones características en ellas, dependiendo de la naturaleza y concentración de los iones. La respuesta dada por las plantas ante la presencia de los iones puede resultar beneficiosa en el caso de las halófitas, siempre que se mantengan en unos niveles determinados de concentración (Flowers *et al.*, 2000). Resulta difícil precisar con generalizaciones los

límites máximos de concentración tolerables para un determinado anión o catión potencialmente tóxico, ya que varían entre rangos muy amplios según especies y variedades. Los síntomas propios de los efectos específicos se reflejan de una forma más o menos inmediata, como la necrosis en las hojas, pero lo más característico, sin duda, es la disminución del crecimiento y desarrollo.

Se han descrito muchos síntomas fisiológicos asociados a la toxicidad de los iones a partir de determinados niveles críticos, tales como: interferencias causadas por ellos en el metabolismo y a los daños que, como consecuencia, tienen lugar en orgánulos y membranas (Frahm *et al.*, 2004), disminución o inhibición de la actividad enzimática o alteraciones en la funcionalidad de la membrana, inhibición de la fotosíntesis, repercusión en los mecanismos de transporte y selectividad, y derivación de parte de la energía metabólica de la planta para su inversión en procesos distintos al crecimiento (Yuen, 2004).

#### **1.5.4 Efectos nutricionales**

La presencia de iones salinos en la solución del suelo, a partir de un determinado nivel crítico de concentración, origina un desplazamiento del equilibrio nutricional mineral de las plantas. Este efecto se produce de dos maneras:

- 1) La fuerza iónica del sustrato tiene un efecto directo sobre la absorción y traslocación de nutrientes. Una evidencia de este efecto es que la salinidad induce una absorción y acumulación de fósforo en ciertas especies. Este es un efecto osmótico y se presenta, independientemente del tipo de sal existente (Yuen, 2004).
- 2) El mecanismo más común, por el que la salinidad altera la nutrición mineral de las plantas es por la interacción directa del  $\text{Cl}^-$  y el  $\text{Na}^+$  sobre la absorción y traslocación de nutrientes dentro de la planta (Michel y Kaufmann, 2001).

Uno de los primeros resultados que revelaron desequilibrios nutricionales en las plantas, como consecuencia de la presencia de los iones salinos, se alcanzaron en estudios de nutrición del  $\text{Ca}^{2+}$ , comprobándose en judías, que la absorción de  $\text{Ca}^{2+}$  depende de la relación  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ . A su vez, numerosos estudios muestran que la



concentración de  $K^+$  en la planta, disminuye al aumentar la salinidad o la relación  $Na^+/Ca^{2+}$  en el medio (Subbarao, 1990).

La reducción en la absorción de  $K^+$  en la planta por el  $Na^+$  es un proceso competitivo. Aunque las plantas tienen una selectividad alta de  $K^+$  con respecto a  $Na^+$ , cantidades excesivas de  $K^+$  pueden tener un efecto negativo sobre las plantas (Yeo, 1998). Quizás por ello, a pesar de los numerosos estudios, que indican la disminución en la absorción y traslocación de  $K^+$  en las plantas cultivadas en sustratos donde predomina el  $Na^+$ , hay pocos datos que demuestren que la adición de  $K^+$  en dichas condiciones mejore el desarrollo de las plantas los estudios de Wyn y Gorham (1983), son algunos de los pocos existentes. Sin embargo, la disminución de la relación  $Na^+/Ca^{2+}$  por adición de  $Ca^{2+}$  a la solución nutritiva si recupera eficazmente los niveles de  $K^+$  intracelular, aumentando la tolerancia de la planta a la salinidad. Además de este clásico desequilibrio iónico, una disminución de la concentración de  $NO_3^-$ , en la planta en condiciones salinas, ha sido ampliamente documentada en distintas condiciones experimentales y con diferentes especies de plantas (Martínez y Cerdá, 1989). Sin embargo, a pesar de la drástica reducción de la concentración de  $NO_3^-$  en la hoja como respuesta a la salinidad, aumentan o al menos no disminuyen diversas fracciones nitrogenadas, como el contenido en prolina, betaínas y aminoácidos o proteínas solubles totales (Gorham *et al.*, 1986; citado por Gómez, 2009).

Estos resultados, también apoyados por Munns *et al.*, (2002), contradicen que la deficiencia de nitrógeno *per se* sea un efecto tóxico de la salinidad.

### **1.5.5 Tolerancia a las altas concentraciones de iones en las plantas**

Aunque la tolerancia a las altas concentraciones de iones es la capacidad de soportar ciertas concentraciones de sales solubles en el área de actividad de las raíces, lo cual se expresa como el nivel de salinidad que determina una cierta declinación en los rendimientos, se ha demostrado que este fenómeno es mucho más complejo, y que esta regido por numerosos procesos bioquímicos, fisiológicos y moleculares. (Hasegawa *et al.*, 2000).

Acevedo (2003), describió algunos mecanismos relacionados con la respuesta de las especies a las altas concentraciones de iones, entre los que se encuentran, la exclusión de los iones a nivel radicular, la retención de iones en las vacuolas de las raíces en crecimiento, retención de iones de la raíz y parte aérea, que permiten que las plantas toleren concentraciones celulares o extracelulares muy elevadas, la retraslocación de los iones a la raíz para su excreción hacia el medio, el constante aumento del tamaño de los compartimentos celulares o extracelulares, a través del aumento de la succulencia, lo que trae como resultado la dilución de los iones, el mantenimiento a niveles adecuados de potasio y calcio con relación al sodio en los compartimentos extracelulares de los órganos. Estos se reflejaban de forma macroscópica en un menor crecimiento de las plantas, la modificación de la relación parte aérea/raíz y la limitación de la expansión foliar.

La respuesta adaptativa para lograr tolerar las altas concentraciones de iones, debe interconectar tres aspectos en la actividad de la planta. El primero es prevenir o reparar el daño o la detoxificación. El segundo es el control de la homeostasis, incluye la homeostasis iónica y la osmótica que deben ser re-establecidas frente a las nuevas condiciones de estrés. En tercer lugar, el control del crecimiento, debe reanudarse pero con una tasa reducida (Munns y Tester, 2008).

### **1.5.6 Descripción de algunos mecanismos de absorción.**

#### **1.5.6.1 Absorción de agua**

Una célula vegetal expuesta a un medio salino equilibra su potencial hídrico perdiendo agua, lo que produce la disminución del potencial osmótico y del de turgencia, esta situación, genera señales químicas (aumento del  $\text{Ca}^{2+}$  libre intracelular, síntesis de ABA, etc.) que desencadenan posteriores respuestas adaptativas (Hasegawa *et al.*, 2000).

Durante el proceso de ajuste se produce la acumulación de solutos orgánicos e inorgánicos que reducen el potencial osmótico celular, y la reducción en la conductividad hidráulica de las membranas, posiblemente por disminución del número o apertura de los canales de agua (acuaporinas). Los cambios macroscópicos que se observan bajo condiciones de salinidad, como reducción del

área foliar y de la relación parte aérea/raíz, entre otros cambios también reflejan el ajuste necesario para recuperar el balance hídrico (Carvajal *et al.*, 1999).

Por la importancia de los flujos hídricos en los procesos de ajuste osmótico celular, la actividad de las acuaporinas debe jugar un papel clave entre los mecanismos de adaptación al estrés (Maurel y Chrispeels, 2001). Algunos autores han sugerido que la regulación de las acuaporinas de plasmalema y tonoplasto tendría un papel en los procesos de osmoregulación celular. Frente al estrés salino se observa el aumento de succulencia, adaptación desarrollada aparentemente más para la reducción de la pérdida de agua que para el mantenimiento de la actividad fotosintética (Leidi y Gorham, 1998).

#### 1.5.6.2 Absorción de iones. Extrusión del $\text{Na}^+$

En un suelo salino, la elevada concentración de iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  o  $\text{SO}_4^{2-}$ , produce una interferencia en la absorción de nutrientes ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) e impide la captación de los mismos, al tiempo que pueden alcanzar niveles citosólicos tóxicos para el metabolismo celular. El mantenimiento del equilibrio iónico de la célula frente a los cambios del medio externo (esto es la homeostasis iónica), depende de las proteínas de membrana que regulan el flujo de iones, como las bombas de protones (ATPasas y pirofosfatasas), transportadores secundarios y canales iónicos (Maathuis y Amtmann, 1999).

Uno de los factores determinantes de la tolerancia celular a la salinidad reside en la capacidad de mantener una alta relación  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  en el citosol. La raíz, como principal órgano de absorción de agua e iones, tiene gran importancia en la respuesta a corto y largo plazo al estrés salino. En este órgano se sintetiza **ácido abscísico (ABA)**, una de las señales tempranas de estrés, capaz de producir cambios fisiológicos locales (conductividad hidráulica) y a distancia (cierre estomático). Las características anatómicas y morfológicas de la raíz pueden tener gran influencia en la capacidad de adaptación a la salinidad. (Maggio *et al.*, 2001).

Un sistema importante para conseguir la reducción del  $\text{Na}^+$  citosólico es la expulsión al medio extracelular. La extrusión de  $\text{Na}^+$  en la mayoría de las algas y en plantas

superiores está mediada por antiportadores  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  del plasmalema (Blumwald *et al.*, 2000; Shi *et al.*, 2000).

### **1.5.6.3 Translocación de iones**

El flujo de agua provocado por la transpiración foliar produce el movimiento de sales desde las raíces hasta las hojas. En las raíces, los solutos que entran siguiendo el flujo transpiratorio, se mueven por el apoplasto, y si atraviesan la membrana de una célula radical, continúa su transporte por el simplasto hasta alcanzar el xilema. En teoría, el movimiento de iones por el apoplasto se interrumpe en la endodermis: la impermeabilidad de las paredes de las células endodérmicas engrosadas con suberina y lignina (banda de Caspary) impiden el libre flujo. En este punto, los iones deberían atravesar la barrera selectiva de las membranas para continuar su camino hacia los vasos del xilema (Clarkson, 1991; citado por Gómez, 2009).

En todo este camino hasta llegar al sistema xilemático, el flujo de iones encuentra células especializadas, con un sistema vacuolar desarrollado, donde los sistemas de transporte a través de membranas plasmática o vacuolar descritos previamente pueden contribuir a la selectividad en el transporte de iones a las hojas (Jeschke, 1984).

Una de las características diferenciales entre especies tolerantes o sensibles al estrés salino ya descritas hace tiempo (Läuchli, 1984) era la capacidad de transportar los iones  $\text{Na}^+$  desde la raíz a la parte aérea y la retranslocación inversa posterior. Según Reinhardt y Rost (1995), los cambios inducidos por el estrés salino en la ultraestructura, morfología y desarrollo de tejidos especializados (endodermis y exodermis) de la raíz reflejan los cambios adaptativos conducentes al control de la absorción y transporte de agua e iones a la parte aérea.

## **1.6 Mejora de la tolerancia al estrés salino**

Los mecanismos que confieren tolerancia a nivel celular pueden no tener efecto a nivel de planta. En la planta se asocian células diferenciadas con distinta función (absorción, transporte, asimilación de carbono), y espacialmente separadas y enfrentadas a condiciones ambientales distintas (Gómez, 2001). La morfología y

anatomía radical y la morfología foliar, son muy importantes, debido a que sobre ellas influyen las distintas variables ambientales, las cuales pueden modificar la absorción de iones y transpiración en un ecosistema, las plantas responden como una comunidad vegetal, de forma diferente a la unidad, por la interacción entre individuos y el medio ambiente.

### **1.7 Métodos de estudio del efecto de las sales sobre las plantas**

Para poder estudiar el fenómeno de la influencia de las sales en las plantas, varios autores han desarrollado trabajos encaminados a describir métodos que pueden servir como base para establecer descripciones y definir mecanismos de respuesta ya sean fisiológicos, bioquímicos y/o moleculares sobre lo que ocurre cuando una determinada especie se somete a este tipo de estrés, en este sentido Munns *et al.*, (2002), expresa que para determinar la tolerancia a la salinidad es necesario recurrir a técnicas eficientes entre las que se encuentran, la respuesta genética de los cultivares basadas en el crecimiento, los métodos de screening basados en el daño o tolerancia usando niveles de salinidad muy altos, métodos basados en la respuesta a mecanismos fisiológicos, entre otros.

Por su parte González (2000) y Craine (2006), han descrito métodos que están relacionados con la capacidad de absorción de agua por la semilla y su germinación en soluciones con altos tenores salinos, la determinación de pigmentos en las plantas, el crecimiento y desarrollo foliar así como la determinación del rendimiento y sus componentes en condiciones de campo, los cuales permiten dar ideas precisas del comportamiento varietal y el nivel de tolerancia de las diferentes especies que se estudian.

### **1.8 Uso de especies forestales en la rehabilitación de suelos salinos**

En México existen numerosas especies de *Eucalyptus*, incluyendo a *Eucalyptus camaldulensis*, que muestran tolerancia a la salinidad, lo cual indica que se puede hacer una selección a nivel inter e intraespecífica del material resistente a este factor. Por ejemplo, *Eucalyptus microtheca* ha sido más tolerante a la salinidad que otras especies de *Eucalyptus*, según estudios que se han realizado en Australia (Morabito *et al.*, 1994). En un estudio de 52 especies de *Eucalyptus*, sometidas a solución

salina Eldridge *et al.*, (1994), quien encontró que *E. camaldulensis* fue la segunda especie más resistente después de *E. woodwardii*.

Otros estudios con plántulas de 47 familias de *Gliricidia sepium* (Jacq.) ex Walp se expusieron a dos niveles de salinidad del suelo ( $S_0 = 0 \text{ g l}^{-1}$  y  $S_1 = 45 \text{ g l}^{-1}$  de NaCl) con el propósito de evaluar la respuesta en el crecimiento y estimar el grado de control genético (heredabilidad) en las características de crecimiento y producción de biomasa. El nivel  $S_1$  afectó en forma negativa a la mayoría de las características evaluadas; las características más afectadas fueron la supervivencia, la retención del follaje y la biomasa de la planta. La supervivencia de las plantas en condiciones de salinidad se asoció en forma positiva con varias de las características de crecimiento evaluado (retención de follaje, biomasa aérea, biomasa total y longitud de las raíces).

Qadir *et al.*, (2006) citados por Chavéz y Álvarez, (2011) plantean que el uso de los seres vivos para la rehabilitación del medio ambiente contaminado se conoce como biorremediación. La utilización de las plantas verdes y su microbiota asociada para el tratamiento in situ del suelo se denomina fitorremediación. Varios cultivos, árboles, arbustos e hierbas se han utilizado como herramientas para el mejoramiento de los suelos salinos. Algunos autores recomiendan la siembra de Carnal grass (*Leptochloa fusca* L. Kunt), sesbania (*Sesbania bispinosa* L.), alfalfa (*Medicago sativa*), bermuda grass (*Cynodon dactylon*) o sordan (*Sorghum drummondii*) como los primeros cultivos para acelerar el mejoramiento de los suelos salinos. Diversas especies de plantas producen adecuados niveles de biomasa en suelos salinos. Estas incluyen especies arbustivas perteneciente al género *Atriplex* y *Maireana*, *Kochia scoparia* L., *Salicornia bigelovii* Ton., *Echinocloa crusgalli* L. y *Portulaca oleraceae* L., entre otros.

Autores como Qadir *et al.*, (2006), citados por Chavéz y Álvarez, (2011) aseguran que existen plantaciones de árboles que crecen en suelos salinos y que pudieran ser utilizados en otras regiones para el mejoramiento de estos tipos de suelos. Entre estos se encuentran *Terminalia arjuna* (Robb. ex DC.), *Dalbergia sissoo* Roxb.ex DC., *Prosopis juliflora* (Sw), *Acacia nilotica* (L), *Parkinsonia aculeata* (L.), *Prosopis cineraria* (L), *Sesbania sesban* (L), *Tamarix dioica* y *Leucaena leucocephala* (Lam.)

En la literatura consultada aparecen numerosos ejemplos sobre la evaluación del efecto positivo de la fitorremediación sobre las propiedades del suelo. En este sentido Borges (2008) evaluó la tolerancia a la salinidad de especies promisorias y el efecto de la cobertura vegetal de las mismas sobre las propiedades del suelo. Sus resultados definieron a *Kochia scoparia* como una especie tolerante a la salinidad al lograr rendimientos entre 33 y 47 t/ha de masa verde y con pérdidas inferiores al 25% de su rendimiento potencial. El cártamo (*Carthamus tinctorius*) se comportó como moderadamente tolerante a la salinidad, con pérdidas inferiores al 15% en suelos con conductividad eléctrica de hasta 4ds/m. El árbol del Nim (*Azadirachta indica*) presentó buen desarrollo, crecimiento y rendimiento hasta los 6 dS/m. Demostró, además, que la cubierta vegetal ya sea en forma de arbustos, residuos orgánicos o pastos, coadyuva a la restauración de las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos estudiados pues se modifican índices como densidad aparente, estado nutricional del suelo y a la vez se activa la fauna microbiana.

Hamidov et al., (2007); citados por Chavéz y Álvarez, (2011) estudiaron la capacidad de *Chenopodium album* y *Apocynum lancifolium*, especies nativas del noroeste de Uzbekistán, de extraer iones de suelos afectados por la salinidad en este territorio. Determinaron la acumulación de sales en las plantas así como su rendimiento potencial. Demostraron, además, que la especie *Chenopodium album* acumula mayor cantidad de materia seca con 569,6 Kg/ha, por lo que sugieren su utilización por agricultores de bajos recursos para rehabilitar y extraer sales de suelos afectados. La especie *Apocynum lancifolium* mostró un adecuado crecimiento, pero fue capaz de extraer muy poca cantidad de sales de los suelo salinos.

Krishnapillai y Ranjan (2005), evaluaron el potencial de crecimiento de *Atriplex patula* en suelos salinos. Los análisis químicos foliares mostraron acumulación de Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> en tallos y hojas. Concluyeron que esta especie puede tolerar excesivos niveles de sales y crecer sin afectaciones aparentes en su crecimiento, por lo que proponen que la misma sea utilizada en la rehabilitación de suelos salinos.

### **1.9 Calidad de la planta forestal en vivero**

El interés del estudio de la calidad de la planta surgió hace aproximadamente 500 años, desde entonces los forestales y viveristas percibieron su importancia, comenzando a desarrollar y aplicar además de los parámetros morfológicos, índices fisiológicos en los que se basa la calidad de la planta (Royo *et al.*, 1997).

Según Peñuelas y Ocaña (1996) la calidad de la planta es la resultante de la integración de numerosas características fisiológicas y morfológicas que controlan las posibilidades de desarrollo y crecimiento ulterior de las plantas. Es uno de los factores más importantes que condicionan el éxito de la plantación.

Históricamente la determinación de la calidad de las plantas viene dada por su capacidad de sobrevivir bajo condiciones de estrés y predecir un crecimiento vigoroso después de su plantación. Este concepto complejo incluye una capacidad fisiológica y características morfológicas capaces de permitir el crecimiento, aún en condiciones limitantes (Johnson y Climer, 1991 citados por Castillo, 2001).

En general se considera una planta de calidad aquella que se produce a bajo costo, conforme con las exigencias de la plantación y con la supervivencia y crecimientos óptimos después del trasplante. La calidad de una planta forestal se demuestra finalmente en el monte, por su capacidad de arraigar y vegetar larga y satisfactoriamente una vez plantada. En buena parte, estas capacidades dependerán de las técnicas de repoblación, pero están además condicionadas por su cultivo en vivero (Montoya y Cámara, 1996).

### **1.10 Atributos utilizados para evaluar la calidad de la planta**

La calidad es definida a través de una serie de parámetros morfológicos y fisiológicos que tratan de caracterizar la planta en el momento de su plantación y que permitirá un seguimiento más controlado de su comportamiento en el campo (Pardos y Montero, 1997 citados por Cobas, 2001).

Chavasee (1980) citado por Castillo en 2001 organiza el proceso de evaluación de la calidad de la postura a través de la medición de dos tipos de atributos:

#### **1.10.1 Atributos materiales o directamente medibles:**



Morfológicos: son parámetros directos como la altura, diámetro del cuello de la raíz, la biomasa, volumen y superficie de distintas fracciones de la planta, o combinaciones de los anteriores.

Fisiológicos: como el estado en que se encuentra el agua y la asimilación de los nutrientes, así como el nivel de reservas, de reguladores del crecimiento u otros compuestos.

#### Atributos de desarrollo

Miden la respuesta de toda planta cuando es sometida a unas condiciones de ensayos particulares. La resistencia al frío, el calor, la sequía o el potencial de regeneración de raíz, son ejemplos de atributos de desarrollo.

##### **1.10.1.1 Atributos morfológicos**

La morfología de la planta es la manifestación de la respuesta fisiológica de la misma a las condiciones ambientales y a las prácticas culturales de vivero y generalmente es fácil de cuantificar (Birchler *et al.*, 1998).

##### **❖ Altura**

Es uno de los parámetros más antiguos que fueron utilizados en la clasificación de la calidad de la postura (Perviainen, 1981; citado por Cobas, 2001). Es fácil de medir, estable, pero no es muy informativo por sí sola (Birchler *et al.*, 1998). Se mide por la longitud de la parte aérea, desde el cuello de la raíz hasta la base de la yema terminal (Suntun, 1979; citado por Oliet, 1997).

La altura de las posturas según Carneiro (1995) citado por Cobas (2001), en el momento del plantío ejerce importante papel en la supervivencia y desarrollo en los primeros años después de la plantación. Existen límites en el crecimiento en altura de las posturas en el vivero por encima o por debajo de los cuales el desempeño de la altura no es satisfactorio después de plantadas.

##### **❖ Diámetro del cuello de la raíz**

Este atributo es, de todos los materiales, el que pronostica con mayor precisión la supervivencia y desarrollo post-trasplante (Mexal y Landis 1990). Da una

aproximación de la sección transversal de transporte de agua, de la resistencia mecánica y de la capacidad relativa para tolerar altas temperaturas en la superficie del suelo (Cleary y Greaves, 1977 citados por Birchler *et al.*, 1998). Es también de fácil medición.

#### ❖ **Peso seco de las plantas**

Según Carneiro (1981) citado por Cobas (2001) en lo referente al peso como parámetro de calidad tenemos que considerar la determinación del peso total, el peso de la parte aérea y el peso del sistema radical.

El peso seco del tallo y la hoja es una medida del desarrollo alcanzado por la planta al final de su cultivo, siendo un parámetro mucho más estable, aunque más costoso de realizar (Van den Driessche, 1982 y Brissete, 1984 citados por Oliet, 1997). Carneiro (1995) citado por Cobas (2001) establece que el peso de las raíces es un parámetro utilizado con frecuencia para caracterizar la masa total de raíces y puede ser considerado como fundamental medida de almacenamiento de fotosintatos en las plantas; sin embargo, no constituye un parámetro que garantice con precisión la cantidad de raíces absorbentes en el sustrato.

#### **1.10.1.2 Atributos morfológicos del sistema radical**

Los atributos más utilizados frecuentemente para expresar el desarrollo de las raíces y su distribución son: número, peso, superficie, volumen, diámetro, longitud y número de nuevas extremidades. El grado de desarrollo de las raíces es un indicador de su capacidad absorbente. Sin embargo la funcionalidad del sistema radical depende no solo del tamaño adquirido sino también del porcentaje de superficie no suberizada o absorbente respecto al total, siendo este porcentaje determinado por el número de raíces finas (fibrocidad), en las que se concentra la actividad de extracción de agua al ser más activas y permeables con relación a las gruesas, cuya función fundamental está relacionada con la conducción y anclaje de la planta. (Thompson, 1985 citado por Cobas, 2001).

Según Oliet (2000) las propiedades de este atributo, vista su estrecha relación con la capacidad absorbente de la planta, son más adecuados para pronosticar la

supervivencia en plantación que los atributos de la parte aérea. De modo que la obtención en vivero de sistemas radicales más y mejores desarrollados puede constituir una garantía de actividad de la planta, especialmente en zonas con condiciones adversas.

### **1.10.1.3 Índices morfológicos**

Según Olier (1995) un índice morfológico es considerado la combinación de dos o más medidas de atributos morfológicos simples, proporcionando información adicional de la calidad de la planta frente a la consideración aislada de los atributos morfológicos que los integran.

#### **❖ Relación parte aérea-parte radical**

La relación parte aérea-parte radical (PA/PR) puede obtenerse por el cociente de peso, volumen o superficies. Se concibe como una medida del grado de equilibrio entre la superficie transpirante o aérea y la superficie radical o absorbente. A menor valor de la relación parte aérea-parte radical más favorecida está la absorción de agua frente a las pérdidas, lo cual es una condición favorable para zonas secas (Thompson, 1985 citado por Castillo, 2001).

#### **❖ Esbeltez**

La esbeltez es la relación altura-diámetro del cuello de la raíz y constituye un indicador muy similar al diámetro del cuello de la raíz en su capacidad de predicción del crecimiento y la supervivencia en plantación e incluso superior. Su cálculo permite una estimulación de la resistencia mecánica de la planta durante las operaciones de plantaciones o frente a vientos fuertes, especialmente en plantas producidas en contenedores (Thompson, 1985 citado por Castillo, 2001). Según Birchler *et al.*, (1998), la esbeltez es un indicador de la densidad de cultivo.

#### **❖ Índice de calidad de Dickson (QI)**

Este índice combina parámetros morfológicos de longitud y peso, expresando la potencialidad de la planta para sobrevivir y crecer en el campo (Thompson, 1985 citado por Castillo, 2001).

## ❖ Balance hídrico en la planta

Se trata de la expresión que relaciona el balance entre la parte aérea y la parte radical en el que interviene también el diámetro de cuello de la raíz como indicador del desarrollo de la planta (Grossnickle, 1991 citado por Cobas, 2001).

### 1.11 Características de la especie *Albizia lebbbeck* (L) Benth

Árbol de mediano tamaño, comúnmente de 8 a 15 cm de altura y entre 40 - 60 cm de diámetro; aunque Webb *et al.*, (1984) citados por Betancourt (2000), dicen que puede alcanzar hasta 30 m de altura y entre 60 - 90 cm de diámetro. En Puerto Rico, semillas sembradas en bolsas de polietileno negro bajo sombra de luz alcanzan un tamaño de 20 a 30 centímetro en 3 meses según Parrotta (1988) citado por Betancourt (2000). La germinación y el desarrollo del arbolillo temprano está favorecido sembrando las semillas sólo debajo de la superficie de la tierra en un suelte, medio húmedo bajo sombra de luz del sol (Troup 1921 y Venkataramany 1968 citados por Betancourt, 2000).

Sus hojas son bipinnadas, con entre 2 y 4 pares de pinnas opuestos, en raras ocasiones 5 cada pinna está compuesta de 4 a 10 pares de folíolos opuestos, ligeramente oblongos (los últimos algo obovados), de color verde mate en la haz, mas pálidos en el envés. Las hojas miden por general entre 20 y 40 cm de largo que incluye el peciolo que tiene de 3 a 10 cm de longitud; folíolos miden entre 2 y 3,5 cm de largo y de 2,5 a 4 cm de ancho.

Este árbol exótico fue introducido en Cuba desde el siglo pasado. Pichardo (1875) citado por Betancourt (2000), lo menciona con el nombre de faurestina. En Cuba se han plantado árboles de esta especie en sitios diversos, más bien como ornamentales. Según Webb *et al.*, (1984) citados por Betancourt (2000), el área de distribución natural de *Albizia lebbbeck* (L.) Benth comprende de la India, Birmania y las Islas Andamán entre los paralelos 11° N y 27°N. Magini (1956) citados por Betancourt (2000), quien también señaló a la India, Birmania y las islas Andamán, como su región de origen, dice "es difícil determinar su distribución natural, por tratarse de una especie extensamente cultivado en los trópicos. Según informan Webb *et al.*, (1984) citados por Betancourt (2000), esa especie se encuentra desde el

nivel del mar hasta 1 400 m de altitud en sitios que reciben entre 500 y 2 500 mm de lluvia anual. Las temperaturas medias anuales, son de 20 a 28° C; la temperatura máxima media del mes más cálido, es de 26 a 36° C y la mínima media del mes más frío, de 10 a 26° C. Crece en suelos ligeros, medianos y pesados, de reacción ácida, neutros y alcalinos se adapta a diversos suelos, siempre que tengan buen drenaje: CATIE (1984) citado por Betancourt (2000), informa que tolera algo la salinidad y fija nitrógeno atmosférico. Se encuentra en forma dispersa, en los bosques diversos y mixtos. El árbol crece mejor en las tierras húmedas, bien agotadas (Bangash, 1977 y Troup, 1921 citados por Betancourt, 2000).

La importancia de la especie reside en sus notables características:

Plantas pioneras con un alto potencial biológico para la disseminación y colonización, adaptación a climas áridos y semiáridos, a suelos salinos y degradados. Algunas especies son psamófilas. Como leguminosas tienen la capacidad de fijar nitrógeno del aire en simbiosis con bacterias, desarrollan raíces profundas que le permiten tener cierta independencia de las precipitaciones, evitan la competencia por agua con especies herbáceas, mejoran el balance hídrico del sistema y aportan nutrientes importados de las capas sub-superficiales.

# *Materiales y Métodos*

## CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Condiciones experimentales

El experimento se realizó en el período de marzo a junio del 2012 en el vivero forestal Cauto Embarcadero perteneciente a la UEB Silvícola de Río Cauto en el municipio homónimo, provincia de Granma el cual limita al norte con el Arrollo 1, al este con la Finca Forestal “Sacaría”, al sur con la carretera de Manzanillo y al oeste con el Arroyo 2, la figura 1 muestra la ubicación. Para este se utilizaron bolsas de polietileno negro de producción forestal (12,7 cm x 20,5 cm). Las semillas utilizadas procedieron de plantaciones de la especie ubicadas a ambos lados de la carretera central en su tramo por el poblado de Guamo.



**Figura 1. Ubicación del vivero Cauto Embarcadero**

### 2.2 Caracterización química de las muestras de suelos empleados

La caracterización química de las muestras empleadas se realizó en el Laboratorio del Centro Provincial de Suelo del municipio de Bayamo. Para el análisis de la salinidad de los suelos empleados se utilizó la NC: 112: 2001 y para su evaluación

NC 776 2010: Calidad del suelo - Evaluación de la afectación por salinidad, también utilizada para el análisis de pH. En el análisis agroquímico de las muestras se utilizaron los métodos de Machiguin y Oniani, según el contenido de carbonato de los suelos empleados en la investigación, según la NC: 52: 1999.

### 2.3 Condiciones climáticas

La información climática es de gran importancia para todo estudio en condiciones de campo puesto que influyen en el comportamiento fisiológico de todos los vegetales.

Los datos de la tabla 1, fueron tomados de la Estación Meteorológica de Jucarito, municipio Río Cauto, con los cuales se elaboró mediante el software Climo Pro v1.0 un climograma utilizando la metodología de Walter y Lieth.

**Tabla 1. Datos climáticos del municipio de Río Cauto en el 2012**

Variables Meteorológicas	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temperatura máxima (°C)	30,6	32,2	33,2	32,7	32,2	33,8	33,9	34	34,5	31,9	29,8	30,5
Temperatura mínima (°C)	16,4	17,9	18,2	19,9	21,2	22,4	22,4	22,6	22,2	21,7	18,5	17,9
Temperatura ambiente (°C)	22,8	24,3	24,8	25,4	26,0	27,2	27	27,2	27,2	26	23,6	23,6
Temperatura mínima del suelo (°C)	16,9	18,4	18,2	20,1	21,8	22,9	22,8	22,9	22,2	21,5	18,8	18,2
Precipitaciones (mm)	3,1	38,1	6,9	45,6	205,4	248,3	125,4	77,4	75,7	169,3	37,7	5,4
Humedad relativa (%)	76	73	68	74	79	79	81	82	79	84	82	81

### 2.4 Ensayo de germinación en el laboratorio

Para determinar el poder germinativo de las semillas, se realizó la prueba de germinación que consistió en poner a germinar 25 semillas por tratamiento a razón de 5 por placas petris con papel de filtro, como tratamiento 1: se añadió 10 mL de disolución de cloruro de sodio (NaCl), ajustada a una conductividad eléctrica de 2



mmho/cm y como tratamiento 2: una muestra patrón con agua desionizada con una conductividad eléctrica de 0,02 mmho/cm, se les realizó el conteo diario hasta los 30 días. La conductividad eléctrica se midió con el conductímetro portátil marca HANNA modelo HI 9033 multirrango, la figura 2 muestra el equipo.



**Figura 2. Conductímetro HANNA HI 9033**

## **2.5 Siembra y riego**

La siembra se realizó el 18 de marzo del 2012 colocándose de 2 a 3 semillas por bolsas de polietileno negro. El riego se realizó dos veces al día en la mañana y en la tarde durante los dos primeros meses y medio, ya para la segunda quincena del tercer mes se regó sólo en la mañana debido a las abundantes precipitaciones.

## **2.6 Ensayos de germinación en el vivero**

El diseño experimental utilizado fue de bloques completamente al azar con 4 tratamientos y 100 réplicas por cada una (400 bolsas de polietileno negro).

La germinación de las semillas se controló durante 30 días en cada una de las bolsas. Se calculó el porcentaje de germinación para cada muestra. A los 30 días se dejó una sola planta por bolsa.

Se estudiaron 3 tratamientos de suelos de diferentes procedencias con un suelo salinizado clasificado como débil salino (DS). Se utilizó como muestra patrón el suelo que normalmente se utiliza en el vivero de Cauto Embarcadero para la obtención de

plantas destinadas a las áreas de plantación, evaluado como no salino (NS), sin ser enriquecido con materia orgánica para no alterar la conductividad eléctrica del mismo.

El riego se efectuó diariamente con una regadera, además del resto de las atenciones culturales tales como escarde y control fitosanitario.

**Tabla 2. Muestras de suelo utilizadas en el experimento**

Muestra	Procedencia	Tipo de suelo	Conductividad Eléctrica (CE) (dS.m <sup>-1</sup> )	
			Relación 1:5	Extracto de saturación
1	Aguacate	Vertisuelos	0,50	1,92
2	Cauto Embarcadero	Vertisuelos	0,49	1,88
3	Jucarito	Vertisuelos	0,31	1,19
4	Finca Forestal Cauto Embarcadero	Vertisuelos	0,24	0,92

## 2.7 Caracterización de los atributos morfológicos de la planta

### 2.7.1 Determinación de los parámetros morfológicos

#### 2.7.1.1 Altura

A los 3 meses en el vivero se comenzaron a realizar las mediciones de altura a 25 plantas por cada muestra, tomadas de forma aleatoria. La altura se midió desde el cuello de la raíz hasta el extremo de la yema apical.



**Figura 3. Medición de la altura**

#### **2.7.1.2 Diámetro del cuello de la raíz (DCR)**

Para medir el diámetro del cuello de la raíz se utilizó un pie de Rey con un error de 0,05 mm.



**Figura 4. Medición del diámetro del cuello de la raíz**

#### **2.7.1.3 Peso seco aéreo (PSA), peso seco radical (PSR), peso seco total (PST)**

Las 25 plantas por cada muestra se extrajeron de las bolsas de polietileno negro, se lavó el substrato evitando desprender las raíces finas, quedando el sistema radical limpio. Se separó la parte aérea de la parte radical, por el cuello de la raíz. Se secaron en una estufa a una temperatura de 70°C durante 48 horas hasta peso

constante, y se determinó en una balanza de precisión de 0,01 g el peso seco de cada una de las fracciones.

$$\text{PST} = \text{PSA} + \text{PSR} \quad (1)$$

Donde:

PST= Peso seco total (g)

Peso seco aéreo (PSA). PSA= masa seca del tallo + masa seca de las hojas.

Peso seco radical (PSR). PSR= Peso de la raíz principal y las raíces secundarias.

## 2.7.2 Atributos morfológicos del sistema radical

### 2.7.2.1 Longitud de la raíz principal

El largo de la raíz principal se determinó desde el cuello hasta el ápice, mediante el empleo de una regla graduada.

### 2.7.2.2 Número de raíces primarias y secundarias

Para determinar este se contó la cantidad de raíces primarias y la cantidad de raíces secundarias.

## 2.7.3 Índices morfológicos

### 2.7.3.1 Relación Parte aérea/Parte radical (PA/PR)

Es la expresión que relaciona el balance entre la parte aérea y la parte radical en el que interviene también el diámetro del cuello de la raíz como indicador del desarrollo de la planta.

Se obtiene al efectuar la siguiente división.  $\text{PA} / \text{PR}$  (2)

Donde:

PA = masa seca del tallo + masa seca de las hojas

PR = masa seca de la raíz

### 2.7.3.2 Índice de Esbeltez (h: DCR)

Constituye la relación existente entre la altura de la planta y su diámetro en el cuello de la raíz. H: DCR altura: diámetro del cuello de la raíz, donde:

$$\text{Esbeltez} = h/D \quad (3)$$

h: altura (cm)

DCR: diámetro del cuello de la raíz (mm).

### 2.7.3.3 Índice de calidad de Dickson (QI)

Combina parámetros morfológicos de longitud y peso con el objetivo de expresar la potencialidad de la planta en relación con la sobrevivencia y el crecimiento, calculándose con la siguiente expresión:

$$QI = PST / (h/DCR + PSA/PSR) \quad (4)$$

PST: peso seco total

h: altura (cm)

DCR: diámetro del cuello de la raíz (mm).

PSA: peso seco aéreo (g).

PSR: peso seco de la raíz.

### 2.7.3.4 Balance hídrico de la planta (BAP)

Relaciona el balance entre la parte aérea y la parte radical en el que interviene también el diámetro del cuello de la raíz como indicador del desarrollo de la planta

$$BAP = PSA / (DCR * PSR) \quad (5)$$

Donde:

PSA: peso seco aéreo (g)

DCR.: diámetro en el cuello de la raíz (cm)

PSR: peso seco radical (g)

## 2.8 Dinámica del crecimiento en altura

Con los valores medios obtenidos en la medición de la altura se determinó el modelo matemático que mejor se ajustaba a la dinámica del crecimiento de la especie durante su estancia en el vivero. Para esto se utilizó el programa Curve-expert.

## **2.9 Análisis estadístico**

Para el procesamiento de los datos, se utilizó el programa estadístico: Statistical Package for Social Science (SPSS) 15,0 para Windows. Con los datos recopilados se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, para probar que los datos seguían una distribución normal. Estadísticamente se realizó un análisis de varianza (ANOVA), para determinar si existían diferencias significativas entre las variables y posteriormente se aplicó una prueba de Duncan con un por ciento de confiabilidad de 0,05.

# *Análisis y Discusión de los Resultados*

## CAPÍTULO III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### 3.1 Análisis de la caracterización química de las muestras

Es el suelo un sustrato complejo de naturaleza química, física y biológica; en su heterogeneidad, material donde se distinguen las fases líquida, sólida y gaseosa, las que interactúan con los elementos minerales que requieren las plantas. La fase líquida de los suelos constituye su solución, que contiene disueltos los elementos minerales y sirve como vehículo al movimiento iónico hacia las raíces de las plantas (Waste 1995; citado por Torres s.a).

El anexo 1 muestra las propiedades químicas determinadas de las muestras de suelos por cada una de las procedencias geográficas estudiadas. Los suelos empleados son de tipo 1, Vertisuelos, los que predominan hasta un 61 % en el municipio de Río Cauto.

El grado en que un suelo puede adsorber e intercambiar iones es denominado como su capacidad de intercambio catiónico (T), la cual, es altamente dependiente del tipo de suelo. Los suelos salinizados utilizados tienen un valor T que fluctúa de 34,96 a 40,28; los suelos procedentes de Cauto Embarcadero son los que presentan mayor capacidad de intercambio catiónico, no siendo así los de zona del Aguacate pues presentan el menor valor de T, tales resultados están en correspondencia con la conductividad eléctrica presente en estas muestras. El resto de las muestras mantienen el mismo valor de intercambio catiónico; 38,38.

El valor de T de los suelos del Aguacate y Cauto Embarcadero demuestran la existencia de una mayor influencia de la salinidad al presentar los mayores valores de conductividad eléctrica y donde la suma de las bases intercambiables superar el valor de la capacidad de intercambio catiónico.

Según la evaluación de la conductividad eléctrica de las muestras procedentes de Aguacate, Cauto Embarcadero y Jucarito son débiles salinos (DS) las cuales presentan valores que oscilan entre 1,19 y 1,92 dS.m<sup>-1</sup>, los que se encuentran en el rango de 1 – 2 dS.m<sup>-1</sup> según el extracto de saturación, para la Finca Forestal de



Cauto Embarcadero ( $0,92 \text{ dS.m}^{-1}$ ) la evaluación es no salina (NS), presente en el rango de  $0 - 1 \text{ dS.m}^{-1}$ .

El pH es uno de los parámetros más importantes en la caracterización de los suelos, de este depende la asimilabilidad de nutrientes minerales y la cantidad de nutrientes retenidos en el complejo de cambio.

Según Landis *et al.*, (2000), las especies forestales toleran un intervalo relativamente amplio de pH, siendo este en latifolias alrededor de 6,5.

El pH en  $\text{H}_2\text{O}$  de las muestras utilizadas varió desde 7,11 hasta 7,77 (de neutro hasta ligeramente alcalino). Las muestras de suelo de Aguacate (1) y la de la Finca Forestal de Cauto Embarcadero (4) son clasificadas como neutras ya que el pH oscila entre 6,51 a 7,50, sin embargo las muestras de Cauto Embarcadero (2) y Jucarito (3) son clasificadas como ligeramente alcalino al oscilar sus valores de pH entre 7,51 a 8,00.

Ansorena (1994) citado por López (2012), asevera que las plantas pueden crecer sin restricciones en un amplio intervalo de pH desde 4 hasta 8, siempre que las concentraciones de nutrientes disponibles se mantengan en niveles suficientes, no excluye que puedan crecer satisfactoriamente fuera de ese rango, lo cual depende de las características de la especie que se cultiva, ya que los rangos de pH determinados se encuentran en optimo para la adsorción de los iones Mg, Ca, K y  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

El fenómeno de adsorción iónica que se da en las partículas de la fase sólida es un factor importante de la fertilidad de los suelos. Dado que los cationes adsorbidos en las superficies de las partículas de suelo no son fácilmente perdidos cuando el suelo es lixiviado por el agua, constituye una reserva de nutrientes disponible a las raíces de las plantas. Los nutrientes minerales adsorbidos en las partículas pueden ser reemplazados por otros cationes mediante el proceso de intercambio catiónico (Waste 1995; citado por Torres s.a).

En el análisis de suelo realizado se pudo encontrar la presencia de cationes intercambiables como Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na) y Potasio (K),

elementos que en excesos pueden originar la condición de salinidad del suelo, fenómeno que puede restringir el crecimiento de la planta si los iones minerales alcanzan niveles que limitan la disponibilidad de agua (potencial de soluto u osmótico muy negativo), o porque alguno de los elementos minerales excede la zona adecuada para que la planta alcance el máximo crecimiento o rendimiento y exhiben efectos de toxicidad.

Los cationes intercambiables presentes en las muestras de suelos utilizados de las cuatro procedencias se clasifican de acuerdo a su función bioquímica como nutrientes que permanecen en su forma iónica, el llamado grupo 3; considerados entre los macroelementos.

La presencia del Potasio en los suelos empleados, con una mayor cantidad en las muestras procedentes de Aguacate y Cauto Embarcadero con 0,195 cm/Kg, permitirá a las plantas producidas en estos una mejor respuesta en cuanto a la absorción en forma de ión  $K^+$  ya que esta es altamente selectiva y cerradamente acoplada a la actividad metabólica de la planta, las plantas procedentes de los suelos de Jucarito y la Finca Forestal de Cauto Embarcadero consideraran menos la absorción ya que presentan 0,111 y 0,084 cm/Kg respectivamente de este elemento.

La importancia de considerar este ión radica en que es un catión univalente con un radio iónico de 0,331 mm y una energía de hidratación de  $314 \text{ Jmol}^{-1}$ , que le permite una elevada movilidad a nivel de célula, de célula a célula, dentro de los tejidos y en el transporte a larga distancia a través del xilema y floema (Waste 1995; citado por Torres s.a).

El Magnesio requerido por muchas enzimas incluidas la transferasa fosfato, es un pequeño catión divalente ( $Mg^{2+}$ ) de un radio iónico de hidratación de 0,428 mm y una muy alta energía de hidratación de  $1908 \text{ Jmol}^{-1}$ . Es absorbido por la planta en su forma iónica y su absorción puede ser fuertemente deprimida por el pH y por los cationes de  $K^+$ ;  $NH_4^+$ ,  $Ca^{+2}$  y  $Mn^{+2}$ ; por lo que la deficiencia nutricional magnésica a causa de la competencia catiónica es un fenómeno bastante profuso. Pero el contenido de Mg requerido por las plantas para su óptimo crecimiento oscila en el rango de 0,15 – 0,35% de la masa seca de los órganos vegetativos (Marschner

1995). En este sentido las muestras empleadas en la investigación favorecen el desarrollo de las plantas producidas en cada una de estas ya que el contenido de Mg presente en el suelo oscila entre 8,32 y 11,90 cm/kg que favorecerá con mayor precisión la absorción de este en las plantas sobre todo las de la muestra patrón.

El Mg juega un rol como átomo central de la molécula de clorofila. La cantidad total Mg combinado con clorofila depende mucho del abastecimiento de este elemento, lo que le permitirá a las plantas producidas en estos suelos salinizados realizar una función fotosintética favorables en cada una de las muestras empleadas.

El calcio macroelemento esencial que dentro de la mayoría de las funciones que cumple en las plantas están relacionadas con la facilidad de formar macromoléculas debido a su capacidad de coordinación, las cuales, aunque estables resultan ligamientos intermoleculares reversibles. Entre las funciones que cumple el  $\text{Ca}^{+2}$  se encuentran: la estabilización de la pared y membrana celular, su participación en el balance catión - anión y la osmoregulación, en el crecimiento de la planta a través de la extensión celular; en procesos de secreción celular y su función como un segundo mensajero en la conducción de señal entre los factores ambientales y las respuestas en términos de crecimiento y desarrollo lo que permitirá favorecer la producción de *A. lebbeck* en condiciones de salinidad sobre todos para las plantas producidas en los suelos provenientes de Cauto Embarcadero y Aguacate seguidos por lo de Jucarito y en último lugar los de la Finca Forestal de Cauto Embarcadero que siendo los que se utilizan en la producción de plantas en el vivero de dicha localidad presentan menor contenido de Ca.

El sodio (Na) es uno de los elementos que son requeridos por plantas, como la *A. lebbeck* por su tolerancia a la salinidad en dependencia de las condiciones de su hábitat, estas toman el sodio en altas cantidades para su crecimiento.

Es un elemento que en suelos salinizados la elevada concentración de iones, produce una interferencia en la absorción de nutrientes ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) e impide la captación de los mismos, al tiempo que pueden alcanzar niveles citosólicos tóxicos para el metabolismo celular. Según los resultados alcanzados en el análisis químico de las muestras empleadas, la proveniente de la Finca Forestal de Cauto

Embarcadero, presenta mayor iones  $\text{Na}^+$  por tanto lo absorberá en mayor cantidades favoreciendo el crecimiento de las plantas en este tratamiento como demuestran los resultados y además de los bajos valores de potasio y calcio ya que este elemento interfiere en la absorción de estos nutrientes que juegan un papel importante en las plantas, es la muestra que menores valores presenta.

Se manifiesta un de forma similar un antagonismo por asimilación con este elemento con el resto de las muestras, siendo la proveniente de Cauto Embarcadero la de menor valor con 1,45 cm/kg de este elemento y mayores concentraciones de K y Ca en cm/kg; 0,195 y 32,34 respectivamente.

El contenido de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y el  $\text{K}_2\text{O}$ , son variados y esto nos da la posibilidad de evaluar y de ser preciso a la hora de corregir el estado nutritivo de las muestras para garantizar el desarrollo de las plántulas en caso de que estas se fueran a enriquecer con materia orgánica.

Las plantas presentan una elevada capacidad para acumular fosfato. En cantidades considerables se acumula en el jugo celular y en el fluido xilemático donde el fosfato se encuentra a una concentración superior a 400 veces que en la solución del suelo. Las muestras procedentes de Aguacate y Cauto Embarcadero son las que presentan mayor contenido de fosfato por lo que serán las que mayores nutrientes absorban de este elemento, según los métodos empleados por la presencia de carbonato o no en los suelos, para la evaluación del mismo el contenido de  $\text{P}_2\text{O}_5$  según Machiguin se evalúa de bajo y el contenido de  $\text{K}_2\text{O}$  como muy bajo a pesar de ambas muestras presentan los mayores valores potásicos.

La evaluación del contenido de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y  $\text{K}_2\text{O}$  en las muestras procedentes de Jucarito y la Finca Forestal de Cauto Embarcadero es muy baja según el método de Oniani.

La materia orgánica de las muestras está entre los 2 y 5 %, los resultados son de 2,60; 2,52; 4,48 y 4,72 respectivamente, como se puede apreciar las dos primeras muestras presentan valores bajos de MO evaluados como medianamente humificados con respecto a las muestras 3 y 4 que tiene valores más altos evaluados como humificados lo que pudiera posibilitar un mejor desarrollo de las plántulas en el

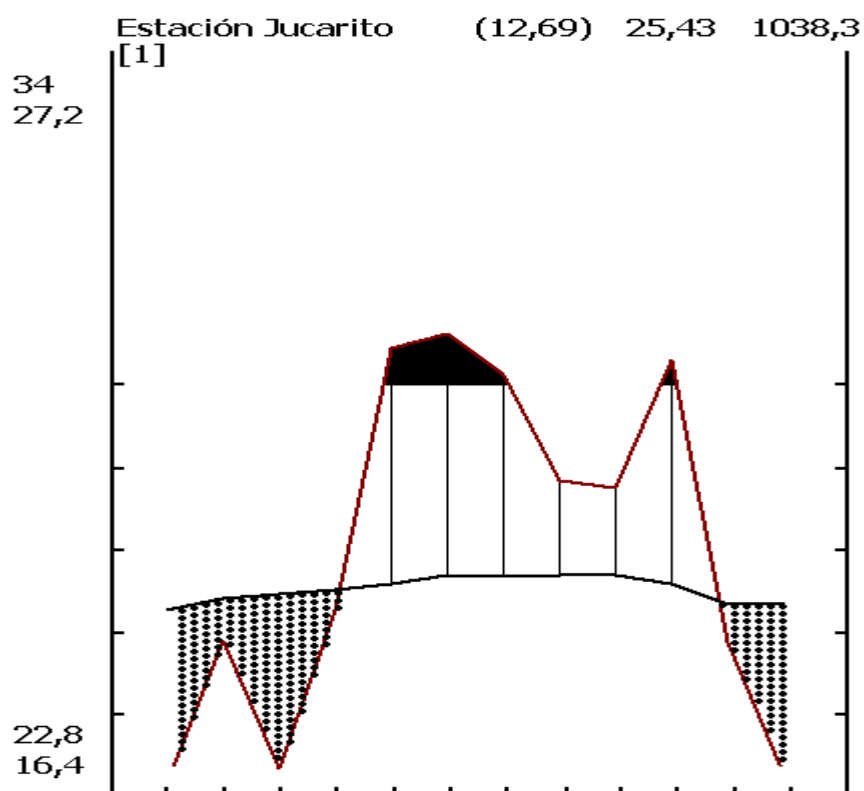
vivero como se obtuvo en la muestra 4 que fue muy superior al resto de las muestras, estos resultados se corresponden inversamente con la afectación por la salinización detectada por la conductividad eléctrica.

### **3.2 Condiciones climáticas**

Según los datos registrados por la Estación Meteorológica de Jucarito, ubicada en el municipio de Río Cauto, provincia de Granma a unos 12,69 m.s.n.m, las condiciones climáticas del año experimental se comportaron de manera típica en relación con años anteriores. Las temperaturas y precipitaciones medias anuales fueron de 25,43 °C y 1 038,3 mm respectivamente. Donde las temperaturas máximas y mínimas absolutas oscilaron entre los 34 y 16, 4 °C y las máximas y mínimas medias se comportaron entre los 27,2 y 22, 8 °C. Estos datos se pueden ver representados en la figura 5, donde se evidencian claramente dos etapas un periodo seco y uno lluvioso, el primero desde Noviembre a Abril dividido en dos periodos, uno desde los meses de Enero a Abril y otro desde Noviembre a Diciembre, la época lluviosa se manifiesta a partir de abril hasta Noviembre donde los primeros meses ocurre un exceso de las precipitaciones sobrepasando los 100 mm ya a partir del mes de junio estas comienzan a disminuir hasta el mes de octubre que precipitan 169,3 mm.

En el período en que las plantas estuvieron en el vivero las marcadas diferencias entre las temperaturas máximas y mínimas favorecen el desarrollo y funcionamiento de estas, ya que en el día las altas temperaturas implican una mayor absorción de agua, y nutrientes, realizan los procesos de fotosíntesis y respiración, permitiendo la producción de masa seca, no siendo así en las noches con temperaturas mas bajas donde la principal función de las plantas es respirar, por lo que todos los productos almacenados por el día quedan reservados, favoreciendo el crecimiento y desarrollo de las mismas preparándolas, de está forma, para condiciones de estrés.

De acuerdo a lo antes expuesto, las plantas de *Albizia lebbbeck*, sometidas a bajos niveles de salinidad, podrán adaptarse con mayor facilidad a la plantación y tolerar los niveles de salinidad.



**Figura 5. Climograma**

### **3.3 Germinación**

#### **3.3.1 Descripción del proceso de germinación de la semilla**

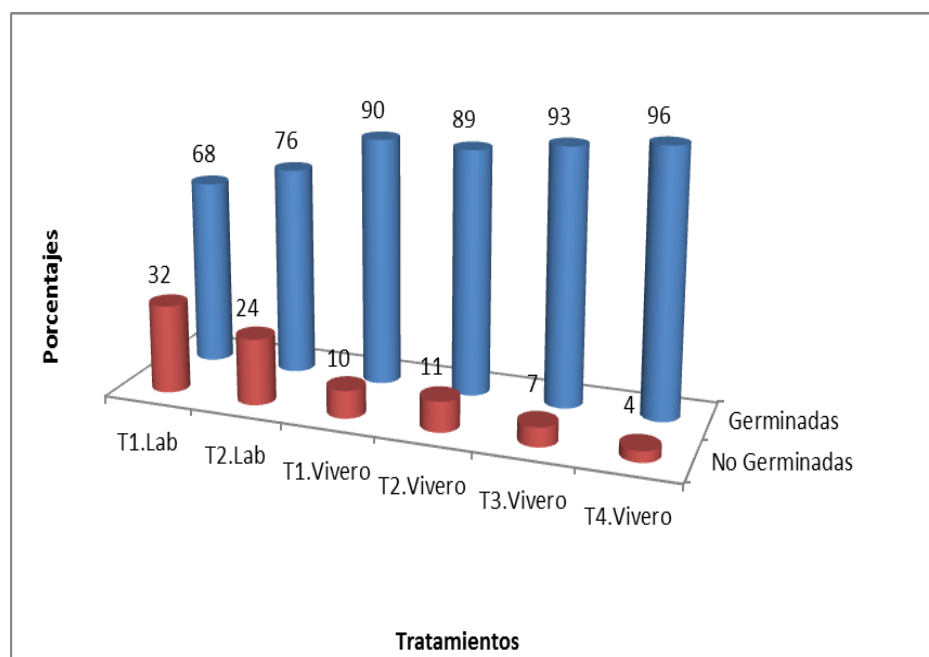
Durante el proceso de germinación de las semillas de *Albizia lebbbeck* quedaron bien definidas las etapas por las que transitó el mismo.

Se comprobó que la especie presenta una germinación epigea, donde el hipocotilo empuja a los cotiledones hacia la superficie del sustrato (geotropismo negativo). Lo primero que emergió de la semilla fue la radícula, destacándose que ésta forma parte del embrión (primordio de la nueva planta), en el que aparecen esbozadas la raíz, el tallo y las hojas, unido al material de reserva en los cotiledones, que se encarga de participar en la activación del crecimiento.

Se destaca que a partir de la imbibición de la semilla en agua se produce una activación del crecimiento que comprende, según Medina (2009) el alargamiento celular, la activación de hormonas y activación de enzimas que conllevan al desarrollo de una nueva planta.

### 3.3.2 Prueba de germinación

La prueba de germinación aplicada a las semillas de la especie arrojó que esta presenta un poder germinativo de un 72% de forma general. El tratamiento 1 alcanzó 68 % de germinación (17 semillas), tratamiento patrón un 76 % (19 semillas), se realizó una comparación de medias, lo que dio como resultado que no hay diferencias significativas entre los tratamientos sometidos a estudio.



**Figura 6. Representación gráfica de la germinación obtenida en ambos experimentos.**

En la prueba de germinación aplicada se obtuvo un 38 % de resultados negativos (14 semillas no germinaron). La representación gráfica de estos resultados se puede apreciar en la figura 6.

### 3.3.3 Germinación en vivero

En el vivero la germinación ocurrió a los 6 días de puestas las semillas, coincidiendo con lo planteado por Parrotta (1988) citado por Betancourt (2000), al referir que las semillas comienzan a germinar entre los seis y ocho días de sembradas. El proceso duró unos 9 días y después de transcurrido 15 días las semillas ya habían germinado por cada uno de los tratamientos montados 90, 89, 93 y 96 respectivamente para un



total de 368 semillas germinadas, lo que representa un 92 % de forma general y los porcentajes para cada uno de estos tratamientos se comportaron de la misma forma; 90, 89, 93 y 96 respectivamente. Estos resultados se pueden observar en la figura 6, lo que evidencia que los suelos procedentes de la Finca Forestal Cauto Embarcadero son los que favorecen la mayor germinación de la especie ya que es un suelo clasificado como no salino con una CE de  $0,92 \text{ dS.m}^{-1}$  según el extracto de saturación, pero dentro de los clasificados como débiles salinos que se emplearon en este experimento el procedente de Jucarito con una CE de  $1,19 \text{ dS.m}^{-1}$  es el más favorecido en cuanto a una mayor germinación de *A. lebbeck* aunque hay que destacar que entre el resto de estos la diferencia de la germinación obtenida es mínima.

En estudios realizados bajo diferentes niveles de salinidad para evaluar la supervivencia de las semillas de *Gliricidia sepium* se obtuvieron resultados de un 21 % para los niveles más elevados y un 94 % para niveles bajos de salinidad (Mendoza *et al.*, 2000).



**Figura 7. Semillas germinadas de *Albizia lebbeck*, en envases de polietileno negro.**



Esto evidencia que las leguminosas arbóreas como los Algarrobos y Piñones toleran la salinidad y pueden germinar en suelos salinizados, solo que con el aumento de las concentraciones de cloruro de sodio (NaCl) y altas concentraciones de iones intercambiables la germinación va disminuyendo.

La acumulación de sales en el suelo, provoca la disminución de la absorción de agua por imbibición y por consiguiente la disminución del hinchamiento y la ruptura final de la testa. La salinidad interfiere en la germinación y crecimiento de las plantas no solo por efectos tóxicos de algunos iones sino porque por aumento de la presión osmótica de la solución del suelo dificulta la absorción de agua.

Sin embargo Forteza (2008) en su estudio sobre la influencia del sustrato orgánico en la germinación de *Caesalpineia violácea*, especie leguminosa, encontró un porcentaje de germinación inferior (56 %) al encontrado en esta investigación en el mismo periodo de análisis, o sea en los primeros 15 días del ensayo.

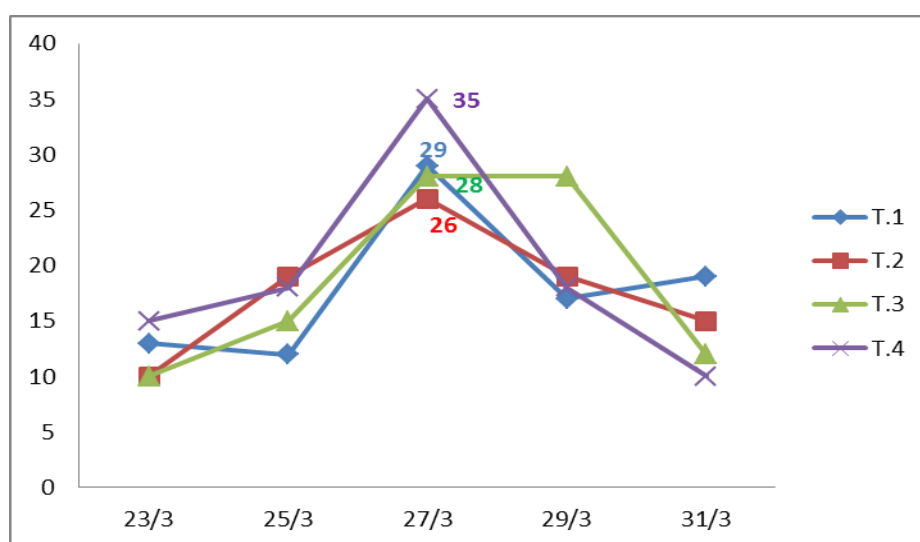
### 3.3.4 Comportamiento de la germinación

**Tabla 3. Comportamiento de la germinación cada dos días**

<b>Fechas</b>	<b>Germinadas</b>			
	<b>Tratamiento 1</b>	<b>Tratamiento 2</b>	<b>Tratamiento 3</b>	<b>Tratamiento 4</b>
<b>23/3</b>	13	10	10	15
<b>25/3</b>	12	19	15	18
<b>27/3</b>	29	26	28	35
<b>29/3</b>	17	19	28	18
<b>31/3</b>	19	15	12	10
<b>Total</b>	90	89	93	96

En la tabla 3 se puede apreciar la germinación de la especie cada dos días, se observó con este intervalo de tiempo para evaluar la influencia de los suelos salinizados en las mismas. Los resultados alcanzados evidencian que estos niveles de salinidad influyen en la germinación de la especie ya que no se obtuvo un 100 % en ninguno de los tratamientos, la procedente de la Finca Forestal Cauto Embarcadero clasificado como no salino presentó un 96 % de germinación, esto

puede relacionarse con la falta de materia orgánica en el uso de sustratos orgánicos. En un estudio realizado por Bassoo, (2010) con la misma especie se obtuvo un 100 % de germinación, este utilizó como sustrato tierra areno - arcillosa en un 80 % y materia orgánica al 20 %. En otras investigaciones realizadas por Mendoza (s.a) en un período de 112 días con especies de la misma familia en condiciones de salinidad se lograron porcentajes muy superiores, con *Gliricidia sepium* cuando los niveles de salinidad eran bajos, en la muestra testigo se obtuvieron resultados de un 99,8 % pero ya con niveles superiores los valores fueron de 56,3 %, lo que demuestra que altos niveles de salinidad disminuye el porcentaje de germinación.



**Figura 8. Comportamiento de la germinación de la especie cada dos días**

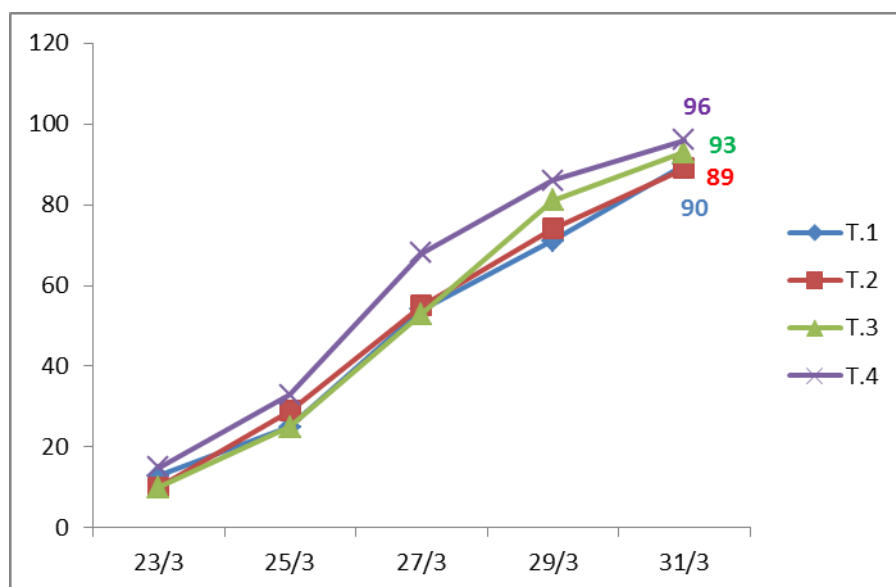
Como se puede observar en la figura 8 el día de vigor germinativo ocurrió a los 10 días de sembradas las semillas en todas las muestras, los resultados obtenidos ese día fueron de 29, 26, 28 y 35 semillas germinadas respectivamente, la figura muestra claramente la máxima germinación alcanzada el 27 de marzo donde se favorece la germinación en los suelos procedentes de la Finca Forestal Cauto Embarcadero como es de esperar por la clasificación de los mismos como no salina y la baja conductividad eléctrica. Pero hay que destacar que dentro de los débiles salinos el procedente de Aguacate fue el que presentó mayor germinación el día de vigor, siendo además el de mayor conductividad eléctrica, a pesar que no existen diferencias significativas entre las muestras con niveles de salinidad débiles es

posible establecer un rango en estos niveles para el establecimiento de plantas que toleren estas condiciones y así sean llevadas a la plantación.

**Tabla 4. Semillas germinada, acumuladas por tratamiento**

<b>Fechas</b>	<b>Semillas germinadas</b>			
	<b>Tratamiento 1</b>	<b>Tratamiento 2</b>	<b>Tratamiento 3</b>	<b>Tratamiento 4</b>
<b>23/3</b>	13	10	10	15
<b>25/3</b>	25	29	25	33
<b>27/3</b>	54	55	53	68
<b>29/3</b>	71	74	81	86
<b>31/3</b>	90	89	93	96

En la figura 9 se representa la germinación acumulada de la especie en un período de 15 días con un conteo cada dos días. Coincidiendo con los resultados antes expuestos el tratamiento patrón fue el que alcanzó mayor germinación acumulada ya que el suelo salinizado empleado presenta mejores características en cuanto a materia orgánica, pH y baja conductividad eléctrica en comparación con el resto de las muestras empleados aunque hay que destacar que la diferencias entre los resultados alcanzados es mínima, sin diferencias significativas, concluyendo que en los suelos débiles salinos la germinación acumulada es favorable.



**Figura 9. Germinación acumulada de *Albizia lebbbeck* sobre suelos salinizados en condiciones de vivero**

### **3.4 Caracterización de los atributos de la calidad de la planta**

#### **3.4.1 Determinación de los parámetros morfológicos**

##### **3.4.1.1 Altura**

En el análisis estadístico realizado a la variable altura no se obtuvieron diferencias significativas  $P < 0,05$  entre las muestras procedentes del Aguacate (1) y la procedente de Cauto Embarcadero (2) y estas dos presentan diferencias significativas con la procedente de Jucarito (3) y con la procedente de la Finca Forestal Cauto Embarcadero (4); y entre estas dos últimas también existen diferencias significativas, estos valores se pueden observar en la tabla 5.

**Tabla 5. Resultados estadísticos del análisis de altura y diámetro del cuello de la raíz**

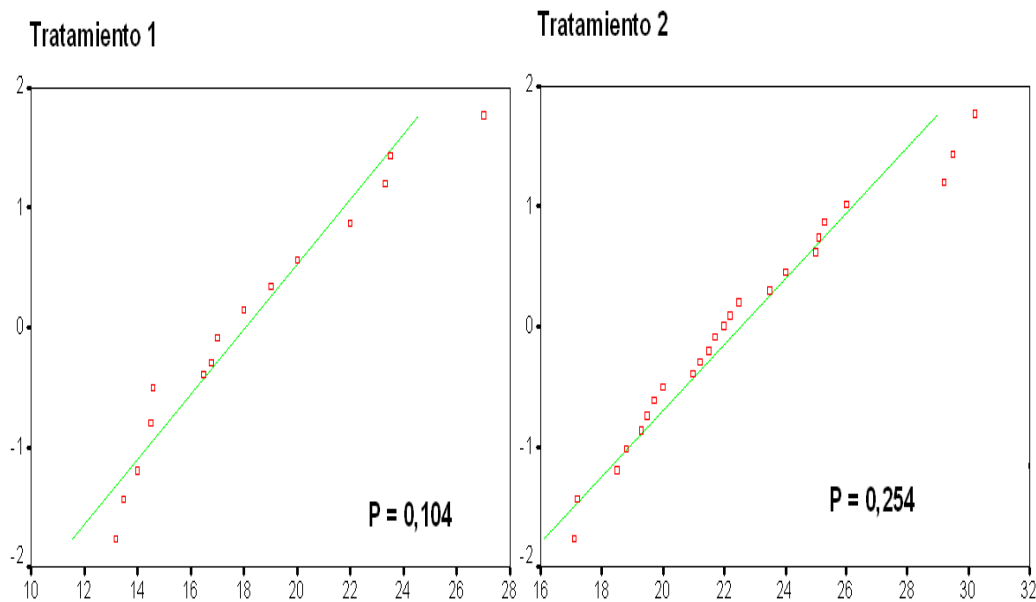
Procedencia	Atributos	
	h(cm)	DCR(mm)
<b>1</b>	<b>18,05<sup>c</sup></b>	<b>3,16<sup>c</sup></b>
<b>2</b>	<b>19,38<sup>c</sup></b>	<b>3,21<sup>c</sup></b>
<b>3</b>	<b>22,56<sup>b</sup></b>	<b>3,59<sup>b</sup></b>
<b>4</b>	<b>26,15<sup>a</sup></b>	<b>4,13<sup>a</sup></b>

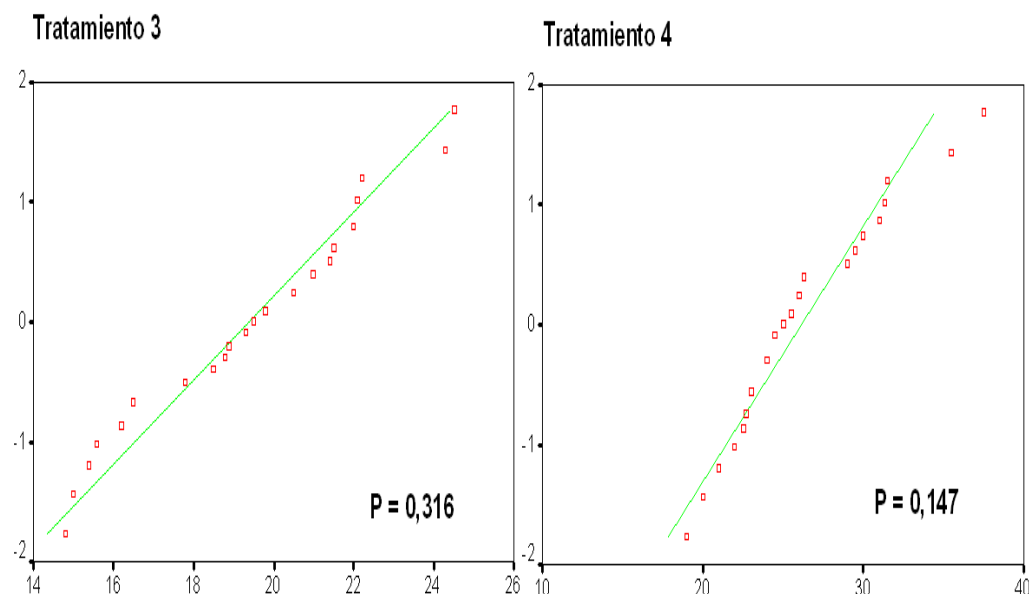
Letras diferentes difieren significativamente para  $p < 0.05$  ( $n = 25$  plantas por muestra). Prueba de Duncan

Como se constata en la tabla 6 los mayores valores de las medias se obtuvieron en la muestra patrón con un promedio de 26,15 cm de altura, la de menor CE donde se empleó el suelo que comúnmente se utiliza en el vivero para la obtención de posturas para la plantación con una clasificación no salina, le sigue la muestra 3 con valores de 22,56 cm, muestra clasificada como débil salina. El resto de las muestras; 2 con 19,38 cm y la 1 la de menor valor con 18,05 cm, sin diferencias significativas y también clasificadas como débiles de salinidad. Estos resultados demuestran que a medida que aumenta el nivel de concentración de iones intercambiables disminuye la

altura de las plantas, estas concentraciones disminuyen el potencial osmótico del suelo y por consiguiente aumenta la absorción de agua, que se encuentra en estado deficiente en el suelos debido a las concentraciones de los nutrientes que son absorbidos por la planta los cuales realizan funciones que intervienen en el crecimiento de estas.

La figura 10 muestra los gráficos de normalidad de la variable altura en cada uno de los tratamientos según los valores esperados y observados, estos demuestran que se cumple el supuesto de normalidad. Los valores se ubican cerca de la recta garantizando una confiabilidad en las estimas posteriores.





**Figura 10. Curvas de normalidad del crecimiento en altura de la especie en cm en cada uno de los tratamientos**

Forteza (2008), en sus investigaciones para obtener plantas de calidad de *Caesalpineia violacea*, aplicó tres variantes en los sustratos empleados y obtuvo resultados inferiores a los que se lograron en este experimento. Tales resultados pueden estar dados por las características de las especies, el desarrollo radical que presentan y el tiempo en el vivero. La Yarúa alcanzó entre sus resultados más favorables una altura de 10,99 cm cuando la *Albizia lebbeck* logró un 26,15 cm para la muestra patrón que presenta un suelo clasificado como NS y en los tratamientos débiles salinos la muestra 3 con menor CE; 1,19 mmhos/cm alcanzó una altura de 22, 56 cm y en la muestra 1 procedente del Aguacate con una mayor CE; 1,92 mmhos/cm se obtuvieron valores medios en altura de 18,05 cm, aun así muy superiores a los obtenidos con *Caesalpineia violacea*.

Los resultados obtenidos por Meriño, (2011) con *Cordia gerascanthus* superan los de esta investigación con las mezclas empleadas en los sustratos, pero en cuanto al testigo esta utilizó el suelo que se emplea en el vivero de Cauto Embarcadero que es el mismo con el que se trabajó en esta investigación procedente de la Finca Forestal del mismo nombre. Los resultados con *Albizia lebbeck* fueron de 26,15 cm en 90 días

muy superiores a los obtenidos con la Varía ya que está en los 120 días que estuvo en el vivero solo alcanzó una altura de 13,37 cm.

Morabito *et al.*, (1994) a los 120 días de montado un experimento con *Gliricidia sepium* bajo dos niveles de salinidad  $S_0 = 0 \text{ g/L}^{-1}$  y un nivel  $S_1 = 45 \text{ g/L}^{-1}$  de disoluciones de NaCl se obtuvieron resultados similares en cuanto al crecimiento en altura con respecto a los de esta investigación los cuales oscilaron entre 18,05 y 26,15 cm y los obtenidos por *G. sepium* fueron de 25,54 y 21,80 cm respectivamente. Esto puede estar dado por las características de la especie, el tiempo de desarrollo en el vivero y las concentraciones de cloruro de sodio (NaCl) empleadas.

### 3.4.1.2 Dinámica del crecimiento en altura

La utilización de modelos matemáticos para describir el comportamiento de la variable altura, resultó de gran utilidad para analizar la dinámica del crecimiento en vivero de la especie en estudio. A partir del cual se determinó la ecuación que mejor refleja la dinámica de crecimiento de las plantas mediante un ajuste del crecimiento de la especie en función del tiempo durante su estancia en el vivero.

$$H = 2.999 * t^{0.005 * t}$$

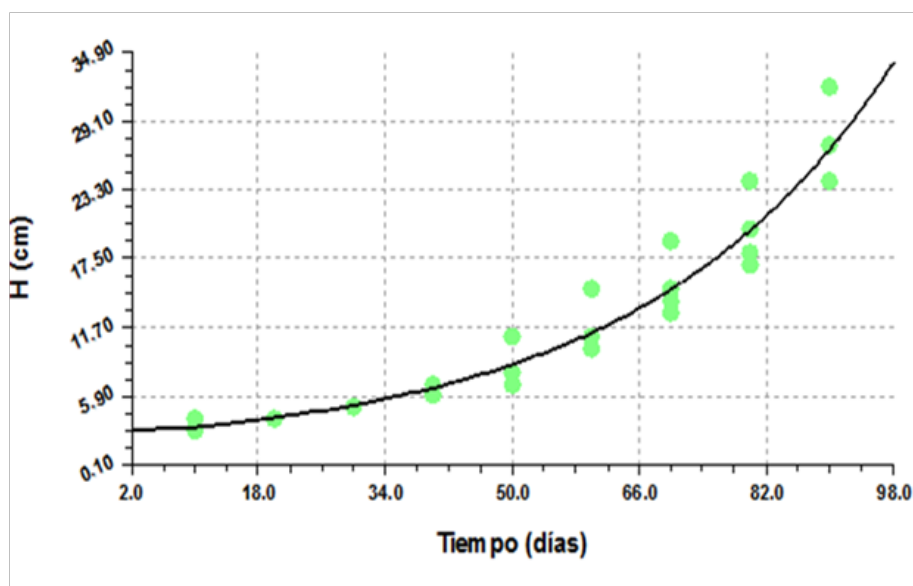
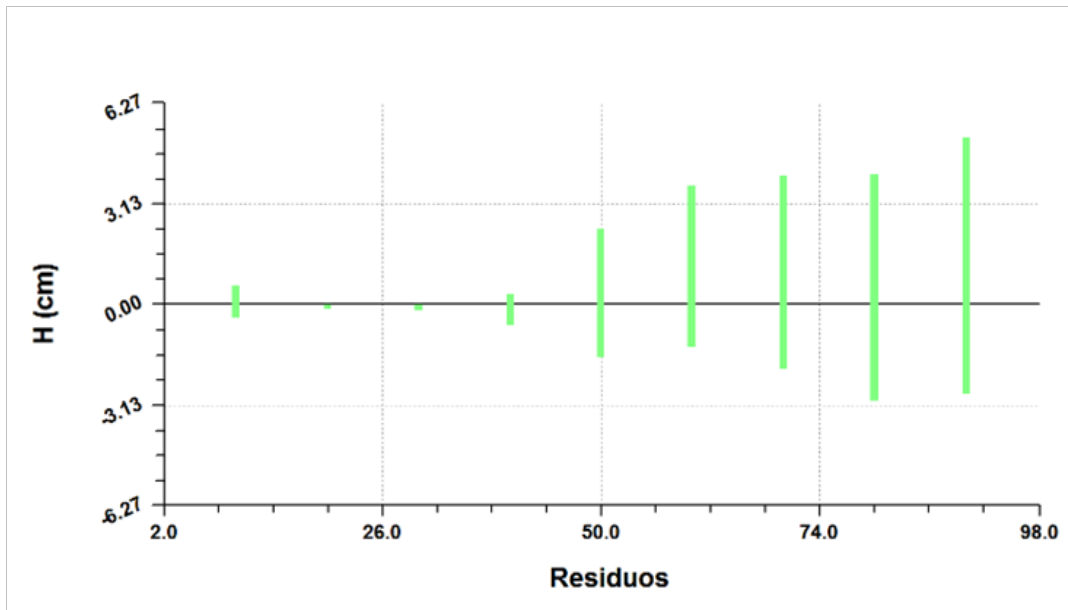


Figura 11. Tendencia de la altura en el tiempo

En la figura 11 se representa el modelo Exponencial el cual garantizó el mejor ajuste al poseer el menor Error típico ( $S=1.88$ ) y el coeficiente de determinación más alto ( $r^2 = 0.94$ ) en comparación con el modelo Logístico que tuvo un error típico  $S=1.91$ . Un análisis del supuesto de homocedasticidad del modelo obtenido, se representa a continuación.



**Figura 12. Distribución de los residuos del modelo ajustado**

En el figura 12 se evidencia el cumplimiento del supuesto teórico de homogeneidad de varianza al distribuirse los residuos entre bandas paralelas, encontrándose en un rango permisible de entre 4 y  $-2$  cm lo cual denota la calidad del modelo ajustado, por otra parte no se identifica una pauta de asociación de los residuos demostrando además el supuesto de aleatoriedad y la representatividad de los datos.

Hamada, (1994) menciona que la disminución del crecimiento por efecto de la salinidad se debe fundamentalmente a que la planta destina energía a la producción de polisacáridos y proteínas solubles que no se utilizan en el crecimiento sino para realizar un ajuste osmótico en las células.





**Figura 13. Altura alcanzada por las plantas a los tres meses en el vivero**

#### **3.4.1.3 Diámetro del cuello de la raíz (DCR)**

El análisis del diámetro del cuello de la raíz evidencia que no existen diferencias significativas entre las medias de las muestras procedentes del Aguacate (1) con las procedentes de Cauto Embarcadero (2) y a su vez estas presentan diferencias significativas con las medias procedentes de Jucarito (3) y con las procedentes de la Finca Forestal Cauto Embarcadero (4) y entre estas últimas existen diferencias significativas. La muestra patrón alcanzó el mayor valor de media; 4,13 mm con una marcada diferencia de la muestra 1 con un valor de media de 3,16 mm y las muestras 2 y 3 con valores de 3,21 y 3,59 mm respectivamente, tales resultados se pueden apreciar en la tabla 5. Estos coinciden significativamente con los valores alcanzados por la variable altura. En tanto se demuestra que a medida que aumenta el nivel de concentraciones de los iones presentes en el suelo disminuye el diámetro del cuello de la raíz en la plantas de *Albizia lebbek*.

Según Thompson (1985), citado por Olier (2000), este atributo es de todos los medibles, el que pronostica con mayor precisión la supervivencia y el crecimiento post trasplante, por la relación que posee con la cantidad de biomasa y la resistencia mecánica.

Los resultados obtenidos en esta investigación en cuanto al diámetro del cuello de la raíz, oscilaron entre 3,16 y 4,13 mm, superiores a los alcanzados con *Gliricidia sepium* en un estudio realizado bajos dos niveles de salinidad  $S_0 = 0 \text{ g/L}^{-1}$  y  $S_1 = 45 \text{ g/L}^{-1}$  de disoluciones de NaCL, que fueron de 0,41 y 0,43 mm respectivamente.

Los promedios obtenidos son inferiores a los alcanzados por Forteza, (2008) con otra leguminosa arbórea, *Caesalpinea violacea* que obtuvo valores muy superiores que los de la muestra patrón, sin influencias de la salinidad utilizandose contenedores plásticos y tres variantes de sustratos: V-1 (30 % HI + 30 % Cpm sc + 40%Tb), V-2 (30 % Ev + 30 % Cpm sc + 40 % Tb), V-3 (70 % As+ 20 % HI + 10 % Ev).

Por su parte Meriño, (2011) en su investigación alcanza valores superiores en sus mezclas empleadas en los sustratos para la producción de *Cordia gerascanthus* en vivero, pero el testigo que utilizó, suelo al 100% coincide con el empleado en este experimento y no supera los valores alcanzados en el tratamiento patrón que fueron de 4,13 mm y los de Varia de 2,75 mm.

#### 3.4.1.4 Peso seco aéreo (PSA), peso seco radical (PSR), peso seco total (PST)

**Tabla 6. Valoraciones estadísticas de peso seco aéreo (PSA), peso seco radical (PSR), peso seco total (PST)**

Procedencia	Atributos		
	PSA	PSR	PST
1	1,25 <sup>b</sup>	0,58 <sup>b</sup>	1,84 <sup>b</sup>
2	1,32 <sup>b</sup>	0,59 <sup>b</sup>	1,91 <sup>b</sup>
3	1,72 <sup>b</sup>	0,72 <sup>b</sup>	2,44 <sup>b</sup>
4	2,35 <sup>a</sup>	1,04 <sup>a</sup>	3,39 <sup>a</sup>

Letras diferentes difieren significativamente para  $p < 0.05$  (n = 25 plantas por muestra). Prueba de Duncan

#### ✓ **Peso seco aéreo (PSA)**

Los resultados estadísticos obtenidos por el PSA favorecen la muestra de suelo cuatro de la Finca Forestal Cauto Embarcadero que alcanzó el mayor valor de 2,35 g/planta, presenta diferencias significativas con el resto de las muestras empleadas

en el experimento, las cueles no presentan diferencias significativas entre ellas, por otra parte el menor valor resultó ser el de la muestra 1 donde se utilizaron los suelos débiles salinos procedentes del Aguacate con 1,25 g/planta, y una conductividad eléctrica de  $1,92 \text{ dS.m}^{-1}$ , según el extracto de saturación, mientras que los valores alcanzados en la muestra 2 (Cauto Embarcadero) y la 3 (Jucarito), oscilan entre 1,32 y 1,72 g/planta respectivamente y a pesar de que el nivel de salinidad es el mismo para estas muestras según la evaluación establecida en el rango de 1 a 2  $\text{dS.m}^{-1}$  según el extracto de saturación; se evidencia que a medida que aumenta la salinidad disminuye el PSA, siendo así que la salinidad de los suelos pueden inferir en la producción de masa seca.

#### ✓ **Peso seco radical (PSR)**

Los valores obtenidos en el PSR, coinciden con los del PSA en cuanto al mayor valor, 1,04 g/planta que lo obtiene el tratamiento cuatro diferenciándose significativamente con el resto de los tratamientos empleados, esta será la que almacene mayor cantidad de fotosintatos en las plantas aunque esto no constituya un parámetro que caracterice con precisión la cantidad de raíces absorbentes en la muestra, aunque se puede inferir que a mayor g/planta en este atributo mayor será el número de raíces. En el resto de los tratamientos en este parámetro los valores oscilan entre 0,58 y 0,72 g/plantas y no presentan diferencias significativas entre ellos.

#### ✓ **Peso seco total (PST)**

Como su nombre lo indica el PST no es más que la suma del PSA y el PSR por lo que teniendo en cuenta los análisis anteriores es evidente que el resultado más favorable para este parámetro morfológico lo presentó el tratamiento patrón con un valor de 3,39 g/planta el cual presenta diferencia significativa con el resto de las muestras, coincide además con la muestra que alcanzó los mejores resultados en altura y diámetro del cuello de la raíz. El resto de las muestras no presentan diferencias significativas y los valores se encuentran entre 1,84 y 2,44 g/planta, estos resultados evidencian que un aumento de las concentraciones de los iones

intercambiables en el suelo disminuye la producción de masa seca en la plantas. Los resultados de estos análisis se pueden apreciar en la tabla 6.

Meriño (2011) utilizó el suelo que comúnmente se utiliza en el vivero de Cauto Embarcadero en la producción de *Cordia geranscanthus* como uno de los cuatro tratamientos (T1) que empleó en su investigación y obtuvo resultados muy inferiores a este experimento en cuanto al tratamiento cuatro en el PSA, PSR y PST, ya con el resto de sus tratamientos los resultados si fueron muy superiores debido a las mezclas conformadas en su investigación; T2: 30% humus de lombriz + 70% suelo, T3: 10% gallinaza + 40% paja de arroz + 50% suelo y como T4: 30% estiércol vacuno + 70% suelo.

Estudios realizados con *Eucalyptus camaldulensis* en México con dos niveles de salinidad  $S_0$  como testigo y  $S_1$  con niveles más elevados a los de esta investigación, se obtuvieron valores reducidos de un 65 % para  $S_1$  con respecto a  $S_0$  en las variables peso seco aéreo y de la raíz. En consecuencias, el peso seco total de las plantas en condiciones de salinidad representó solo el 34% del peso de las plantas en condiciones favorables.

Los resultados obtenidos en  $S_1$  en cuanto al PSA fueron de 0,26 g/plantas más bajos que los que alcanzó el tratamiento patrón de 2,35 g/plantas en esta investigación, ya con el resto de las muestras en comparación con  $S_1$  fueron muy superiores ya que los resultados de la *Albizia lebbbeck* oscilaron entre 1,25 y 1,72 g/plantas y el valor de  $S_1$  fue de 0,086 g/plantas, esto es debido a los niveles de salinidad empleados y el tiempo en el vivero, demostrándose que un aumento de la salinidad disminuye la producción de masa seca en las plantas. De la misma manera ocurre con los valores obtenidos en cuanto al peso seco radical y el total.

### **3.4.2 Atributos morfológicos del sistema radical**

Según Meléndez y Molina, (2002) las raíces son los órganos involucrados en la absorción de agua y minerales por excelencia. Sus atributos morfológicos y fisiológicos, expresados por ejemplo en su alta relación superficie/volumen y en la plasticidad de su arquitectura, determinan su éxito ecológico en el forrajeo de

nutrientes y agua en un ambiente hostil y competitivo (el suelo), donde el abastecimiento de los recursos es limitado, local y variable. Al igual que los tallos, las raíces pueden constituir un importante órgano para el almacenamiento de agua, minerales y carbohidratos. Asimismo, señales químicas provenientes de la raíz, tanto de naturaleza hormonal como mineral, regulan las relaciones hídricas y el metabolismo de las hojas y de los tallos.

### 3.4.2.1 Longitud de la raíz principal

En cuanto a la longitud de la raíz principal no existen diferencias significativas entre la muestra procedentes de Jucarito (3) y la Finca Forestal de Cauto Embarcadero (4), las de menores valores de conductividad eléctrica, aunque estas presentan una correlación significativa con la muestra proveniente de Cauto Embarcadero (2) y esta última se correlaciona con la muestra procedente del Aguacate (1) que si presenta marcadas diferencias significativas con las muestras 3 y 4 (tabla 7). La mayor longitud se obtiene en la muestra 4 que alcanza como promedio 22,48 cm, la menor longitud la tiene la muestra 1 con 19,28 cm, coincidiendo con los valores mas altos en cuanto a la conductividad eléctrica, el resto de las muestras 2 y 3 presentan valores de 22,37 y 20,54 cm respectivamente, estos resultados se relacionan directamente con el aumento de la concentración de iones intercambiables en el suelo, a medida que estos aumentan disminuye la longitud de la raíz principal.

**Tabla 7. Análisis estadístico de los atributos morfológicos del sistema radical**

Procedencia	Atributos		
	LRP	NRG	NRF
1	19,28 <sup>b</sup>	1,08 <sup>a</sup>	57,16 <sup>b</sup>
2	20,54 <sup>ab</sup>	1,16 <sup>a</sup>	66,80 <sup>ab</sup>
3	22,37 <sup>a</sup>	1,24 <sup>a</sup>	68,36 <sup>ab</sup>
4	22,48 <sup>a</sup>	1,40 <sup>a</sup>	73,40 <sup>a</sup>

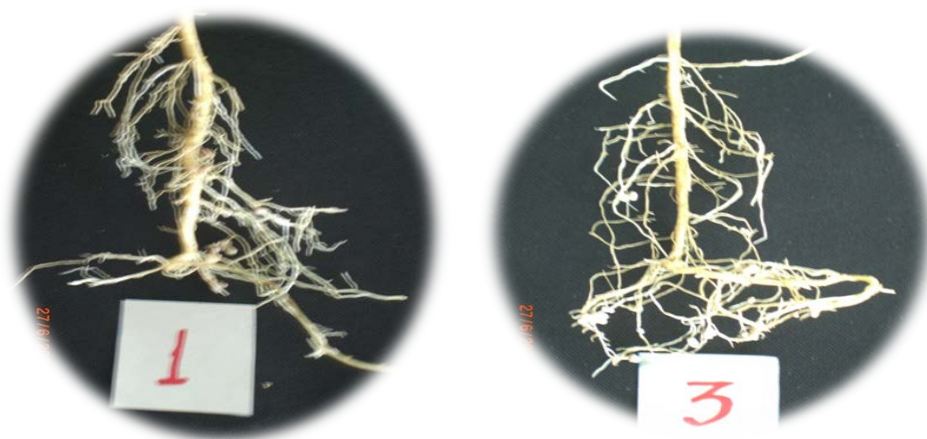
Letras diferentes difieren significativamente para  $p < 0.05$  ( $n = 25$  plantas por muestra). Prueba de Duncan

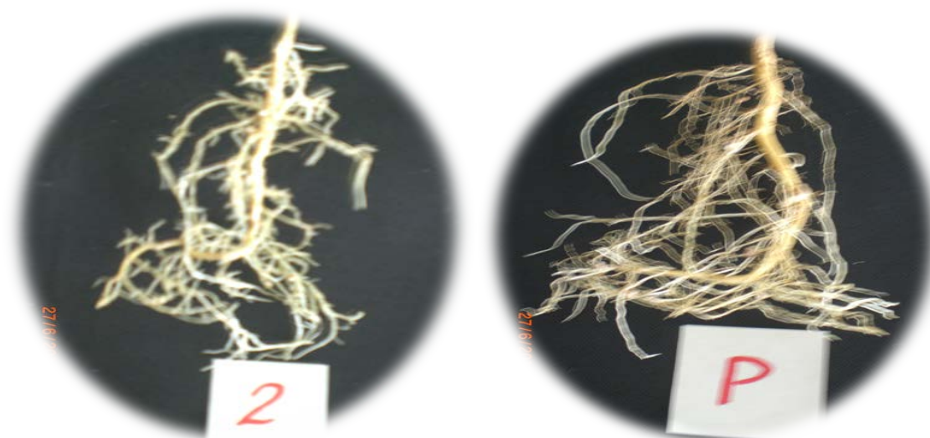
Los resultados alcanzados por la longitud de la raíz en el estudio realizado en México con *Gliricidia sepium* son inferiores a los de esta investigación que oscilaron entre 19,28 y 22,48 cm de longitud y los obtenidos por *G. sepium* fueron de 16,61 y 15, 88 cm respectivamente.

Thompson (1985) plantea que la longitud o superficie de la raíz es un indicador de su capacidad absorbente. Sin embargo, la funcionalidad del sistema radical depende no solo del tamaño adquirido, sino también del porcentaje de superficie no suberizada absorbente respecto al total; y este porcentaje viene determinado por el número de raíces finas.

### 3.4.2.2 Número de raíces primarias y secundarias

Las raíces gruesas y las raíces finas difieren en distribución, morfología, longevidad y funcionamiento. Las raíces gruesas y profundas garantizan el anclaje y extraen agua y minerales de horizontes más profundos del suelo. Constituyen además importantes reservorios de recursos. Las raíces finas son más efímeras y responden dinámicamente a los cambios en el ambiente del suelo y a las señales fisiológicas provenientes de la parte aérea. Las raíces finas se encuentran localizadas superficialmente en el perfil del suelo y se supone que absorben la mayor proporción del agua y los minerales requeridos por las plantas (Meléndez y Molina, 2002).





**Figura 14. Muestra de las raíces principales y finas**

De acuerdo al número de raíces primarias o gruesas no existen diferencias significativas entre ellas, el mayor valor lo obtiene la muestra 4 y el menor la muestra 1, los resultados obtenidos oscilan entre 1,08 y 1,40. Ya con el número de raíces secundarias o finas existe diferencia significativa entre el tratamiento uno con el tratamiento cuatro que a su vez ambos tienen correlación por separado con los tratamientos 2 y 3. Los resultados alcanzados son de: 57,16; 66,80; 68,36; y 73,40 respectivamente. Estos datos se pueden observar en la tabla 8 y la figura 14 muestra la estructura de las raíces primarias y secundarias de cada una de los tratamientos empleados en el experimento.

A juicio de Oliet (2000), las propiedades de este atributo, vista su estrecha relación con la capacidad absorbente de la planta, son más adecuados para pronosticar la supervivencia en plantación que los atributos de la parte aérea. De modo que la obtención en vivero de sistemas radicales más y mejores desarrollados puede constituir una garantía de actividad de la planta, especialmente en zonas con condiciones adversas como son los suelos salinizados, que son los utilizados en esta investigación.

Estos atributos morfológicos de calidad en el sistema radical desempeñan un papel importante en la comprensión del transporte de las sales solubles disueltas en el



suelo a las partes aéreas de las plantas, esto es posible debido a la presencia de las células epidérmicas especializadas que se encuentran en las raíces y el tallo.

### 3.4.3 Índices morfológicos

#### 3.4.3.1 Relación Parte aérea/Parte radical (PA/PR)

**Tabla 8. Procesamiento estadístico de los índices morfológicos**

Procedencia	Atributos			
	PA/PR	h:DCR	QI	BAP
1	2,51 <sup>a</sup>	7,15 <sup>a</sup>	0,21 <sup>b</sup>	81,57 <sup>a</sup>
2	2,47 <sup>a</sup>	6,43 <sup>ab</sup>	0,23 <sup>b</sup>	72,62 <sup>ab</sup>
3	2,29 <sup>a</sup>	6,22 <sup>b</sup>	0,33 <sup>a</sup>	71,27 <sup>ab</sup>
4	2,23 <sup>a</sup>	5,18 <sup>c</sup>	0,39 <sup>a</sup>	58,61 <sup>b</sup>

Letras diferentes difieren significativamente para  $p < 0.05$  ( $n = 25$  plantas por muestra). Prueba de Duncan

Esta relación no sólo se obtiene por el cociente de pesos, sino también por la relación de volúmenes o superficies. Según los resultados de las medias en el procesamiento estadístico no existen diferencias significativas con la relación parte aérea/ parte radical, pero el mejor valor coincidiendo con otros de los parámetros analizados lo presenta la muestra procedente de la Finca Forestal de Cauto Embarcadero (4), ya que es el menor pues mientras más pequeño sea este más favorecida está la absorción de agua frente a las pérdidas, lo cual es una condición indispensable para las plantas, indicando esta una mayor capacidad para superar el momento crítico del arraigo. Destacando que en estos suelos salinizados la absorción de agua por la raíces se vera restringida por las concentraciones de los nutrientes presentes, provocando un efecto osmótico. La absorción de iones específicos provoca en las plantas desórdenes fisiológicos, aunque según Parrota, (1988) citado por Betancourt (2000), esta especie es capaz de tolerar la salinidad lo que les permitirá a estas funciones y mecanismos de adaptación para tolerar tales condiciones para su desarrollo y crecimiento.



En este caso el menor valor resultó ser 2,23 g/plantas obtenidos por las plantas de la muestra 4 con una CE del extracto de saturación de 0,92 mmhos/cm en el, el resto de los valores oscilan entre 2,51 y 2,29 g/plantas los resultados se pueden comprobar en la tabla 8.

La gama de valores recomendados por diferentes autores es muy amplia, dependiendo de múltiples circunstancias. Carlson (1985), citado por Cobas (2003), afirma que el valor óptimo de PA/PR aumenta con el tamaño de la planta al final del cultivo.

La relación parte aérea, parte radical de las plantas obtenidas en México con *Eucalyptus camaldulensis* empleando el factor salinidad, con dos niveles (como testigo  $S_0 = 0 \text{ g/L}^{-1}$  y un nivel  $S_1 = 32,5 \text{ g/L}^{-1}$ ) de disoluciones de NaCl, presentó resultados superiores a los obtenidos en esta investigación en cuanto al tratamiento patrón y el resto de los tratamientos empleados, lo que indica que los alcanzados por la leguminosa son más favorables, al ser menores y favorecer la absorción de agua frente a las pérdidas. Los resultados de *E. camaldulensis* para  $S_0 = 3,306 \text{ g/plantas}$  y para  $S_1 = 3,060 \text{ g/plantas}$ , mientras que para la *A. lebbbeck* oscilaron entre 2,23 y 2,51 g/plantas.

### 3.4.3.2 Índice de Esbeltez (h: DCR)

Como se puede observar en la tabla 8 la muestra procedente de la Finca Forestal de Cauto Embarcadero (4) presenta una mejor relación altura: diámetro, coincidiendo con el tratamiento con mayor diámetro del cuello de la raíz.

Según Thompson (1985), citado por Olié (1997) la esbeltez permite una estimación de resistencia mecánica de las plantas durante la operación de plantación frente a fuertes vientos, además señala que se logra una mejor calidad de la planta a través de una disminución de la esbeltez, de modo tal que las plantas mejor preparadas para resistir condiciones adversas, son las obtenidas en el tratamiento 4, que está presenta diferencias significativas con el resto de las muestras, así como con las medias obtenidas de Aguacate (1) y Jucarito (3) y a su vez estas presentan correlación por separado con la muestra procedente de Cauto Embarcadero (2).

Dentro del nivel débil salino analizado en esta investigación las plantas que mejor esbeltez alcanzaron son las del tratamiento 3 procedente de Jucarito, donde la CE es de 1,19 mmhos/cm ya que esta es menor al resto de las muestras empleadas, debido a las concentraciones de los iones solubles disueltos en el suelo de cada uno de los tratamientos.

Forteza, (2008) en su investigación con otra especie de leguminosa arbórea obtuvo valores más favorables en cuanto a la relación altura: diámetro esto se debe al uso de sustratos orgánicos y contenedores.

En la figura 15 se puede apreciar la esbeltez alcanzada por las plantas de *Albizia lebbbeck* a los 3 meses en el vivero.



**Figura 15. Esbeltez alcanzada por la plantas**

#### **3.4.3.3 Índice de calidad de Dickson (QI)**

El índice de calidad de Dickson integra los aspectos de masa total de la planta, el diámetro del cuello de la raíz y la altura con el objetivo de explicar la potencialidad de las plantas tanto para sobrevivir como de crecer. Los valores de este índice se pueden observar en la tabla 8, el mayor índice se alcanza en la muestra de la Finca Forestal Cauto Embarcadero (4), tratamiento patrón, que sin diferencia significativa junto con la muestra procedente de Jucarito (3), se diferencian significativamente con las muestras de Aguacate (1) y las de Cauto Embarcadero (2), y estas últimas no

presentan diferencias significativas entre ellas. Los valores de las medias obtenidos en este parámetro son los siguientes: 0,33; 0,21; 0,23 y 0,39 respectivamente.

Los valores obtenidos en todas las muestras son inferiores a los obtenidos por otros autores que trabajaron con otras especies de latifolias; como De Mata, (2009) con *Cedrela odorata* y Cobas, (2001) con *Hibiscus elatus*; aunque sí fueron superiores a los resultados obtenidos por Castillo, (2001) con *Eucalyptus grandis*.

Esto puede estar condicionado por las características de la especie, las condiciones en las que se montó el experimento, las propiedades químicas de los suelos empleados y el tiempo en el vivero.

#### **3.4.3.4 Balance hídrico de la planta (BAP).**

Este índice tiene un alto valor de predicción del potencial de evitación de la sequía en condiciones en que la absorción de agua por las raíces está dominada por la demanda. Los valores menores son significativamente favorables, por lo que como se puede apreciar en la tabla 8 el patrón es la que tiene mejor balance hídrico, el cual presenta diferencias significativas con la muestra 1 y una correlación de medias con los tratamientos 2 y 3, aunque el uno también presenta correlación con las muestras 2 y 3 por lo que se pudiera decir que el balance hídrico de las plantas de este experimento está estrechamente relacionado en cada una de los tratamientos. Los valores obtenidos oscilan entre 58,61 y 81,57.

En general la presencia de sales solubles en el suelo afecta negativamente al desarrollo de las plantas; disminuyendo el potencial hídrico del medio y restringiendo así la absorción de agua por las raíces (efecto osmótico). Por la absorción de iones salinos específicos, que puede determinar su acumulación en los tejidos en concentraciones que lleguen a ser tóxicas e induzcan desórdenes fisiológicos (toxicidad iónica específica). Las concentraciones elevadas de iones salinos también pueden modificar la absorción de los nutrientes esenciales determinando desequilibrios nutricionales (efecto nutricional).

# *Conclusiones*

## CONCLUSIONES

1. La concentración de iones de los suelos débiles salinos utilizados en el experimento no influyo significativamente en la germinación de la especie *Albizia lebbbeck*, alcanzándose un 92 % de semillas germinadas.
2. La calidad de las plantas de *Albizia lebbbeck* quedo influenciada por la salinidad del suelo ya que los indicadores de calidad evaluados fueron superiores en el suelo no salino.

# *Recomendaciones*

## **Recomendaciones**

1. Evaluar el comportamiento de *Albizia lebbeck* en suelos con altas concentración de iones.
2. Establecer plantaciones de *Albizia lebbeck* en los suelos débiles salinos de la Unidad Empresarial de Base Silvícola Río Cauto.

# *Bibliografía*



## Bibliografía

1. Acevedo, E. 2003. Resistencia al estrés abiótico. Producción y Protección vegetal, 12 (1): 133-145.
2. Ansorena, M. J. 1994. Sustratos, propiedades y caracterización. Ediciones Mundi – Prensa. España. 172 p.
3. Anuario Estadístico. 2006. Superficie cosechada y en producción de cultivos seleccionados de la Agricultura no cañera. Sector estatal. Version digital.
4. Bassoo, P. 2010. Comportamiento de *Albizia lebbbeck* (L) Benth en la etapa de vivero. Universidad de Granma. Trabajo de curso. MES. 40p
5. Ben, L.; Morte, A.; Ouarraqi, M. et Oihabi, A. 2003. Réponses physiologiques et biochimiques du trèfle (*Trifolium alexandrinum* L.) à la double association Mycorhizes - Rhizobium sous une contrainte saline. Agronomie. Vol. 23, N°7, 571-580 p.
6. Betancourt, A. 2000. Árboles maderables exóticos en Cuba. Editorial Científico – Técnica. La Habana, Cuba. p 26 – 28.
7. Birchler, T.; Rose, R.; Royo, A. y Pardo, M. 1998. La planta ideal: Revisión del concepto parámetros definitorios e implementación práctica. Revista de investigación agraria. Sistemas y Recursos Forestales. Madrid. España. 7 (2): 109 – 119 p.
8. Blumwald, E.; Aharon, S. and Apse, P. 2000. Sodium transport in plant cells. Biochimica et Biophysica Act. 1465: 140-151p.
9. Borges, O. 2008. Tolerancia a la salinidad de especies vegetales de usos múltiples y efecto de su cobertura vegetal en el mejoramiento de los suelos. Tesis (en opción al título de máster en Ciencias Agrícolas) Universidad de Granma. 60 p.
10. Carvajal, M.; Martínez, V. and Alcaraz, F. 1999. Physiological function of water channels as affected by salinity in roots of *Paprika pepper*. Physiologia Plantarum, 105: 95-101p.

11. Castillo, I. 2001. Efecto del sustrato en el cultivo de la especie *Eucalyptus grandis* en vivero utilizando tubetes plásticos en la EFI Guanahacabibes. Pinar del Río. Tesis (en opción al título de Máster en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río. 84 p.
12. Cobas, M. 2001. Caracterización de los atributos de calidad de la planta de *Hibiscus elatus*. Sw., cultivada en tubetes. Pinar del Río. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río. 100 p.
13. Cobas, M. 2003 Material Didáctico para el curso de Fomento Forestal. Calidad de la planta forestal de vivero. Cuba. Universidad de Pinar del Río. 29 p.
14. Craine, M. 2006. Competition for nutrients and optimal root allocation. *Plant Soil* 285: 171-185 p.
15. Chávez, L y Álvarez, A. 2011. La selección de variedades tolerantes. Una alternativa para la rehabilitación de suelos afectados por la salinidad. *Revista Granma Ciencia*. Vol. 15, no. 3 Septiembre - Diciembre 2011. ISSN 1027-975X
16. De Mata, E. 2009. Evaluación de la calidad de la planta de *Cedrela odorata* L. cultivada en vivero mediante diferentes métodos. Pinar del Río. Trabajo de Diploma. Universidad de Pinar del Río. 75 p.
17. Eldrige, K.; Davidson, J.; Harwood, Ch.; WYK, G. 1994. *Eucalyptus domestication and breeding*. Oxford Science Publications. Oxford, England. 287 p.
18. FAO, ISRIC y SICS. 1999. Base Referencial Mundial del Recurso Suelos. 98 p.
19. Flores, A. 1993. Salinidad un nuevo concepto. Seminario Cuba – México. La Habana, (mimeografiado). 12 p.
20. Flowers, J.; Koyama, L.; Flowers, A.; Sudhakar, C.; Singh, P. and Yeo, R. 2000. QTL: their place in engineering tolerance of rice to salinity. *Journal of Experimental Botany*, 51: 99-106 p.
21. Follet, H.; Murphy, S y Donaue, R. 1981. Reclamation and management of saline and sodic soils. *Fertilizer and soil amendments*. Chap 9, Prentice Hall Inc., New Jersey, USA. 424-457 p.

22. Forteza, I. 2008. Efectos de diferentes sustratos orgánicos en la calidad de la planta de *Caesalpinia violacea* (Mill.) Standl, cultivada en tubetes. Pinar del Río. Tesis (en opción al título de Master en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río. 88 p.
23. Frahm, A.; Rosas, C.; Mayek, N. and López, E. 2004. Breeding beans for resistance to terminal drought in the lowland tropics. *Euphytica*, 136(2): 223 -232 p.
24. Garcia, A.; Rizzo, J.; Bartos, L.; Senadhhira, D.; Flowers, J.; Yeo, R. 1997. Sodium and potassium transport to the xylem are inherited independently in rice, and the mechanism of sodium: potassium selectivity differs between rice and wheat. *Plant, Cell and Environment*, 20: pp. 1167 - 1174.
25. Gómez, A. 2001. Alteraciones en la fisiología de los cítricos inducidas por salinidad. *Levante Agrícola*, Vol. 356, 187 – 193 p.
26. Gómez, E.; Sánchez, L. R.; Argentel, M. L.; Alarcón, B. K. y Aguilera, G. I. 2008. Fragilidad de ecosistemas salinos en la región oriental de Cuba. *Monografías.com*. [en línea]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos64/fragilidad-ecosistemas-salinos-cuba-oriental>. [Consulta: 15 de junio 2012].
27. Gómez, E. 2009. Selección de variedades de frijol Caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) tolerantes a la salinidad. Tesis (en opción al título de Máster en Ciencias Agrícolas). Universidad de Granma. 80 p.
28. González, M. 2000. Tolerancia a la salinidad en cultivares de *Vigna unguiculata* (L.) Walp durante las etapas iniciales del crecimiento de las plantas. *Alimentaria*. España. 314: 105-108 p.
29. González, M.; Ramírez, R.; López, R. and Gómez, D. 2001. Integrated management of SALT-affected soils in Cuba. *Proceeding of international Workshop on Management of Problem and Degraded Soils included SALT-affected soils*. Valencia. España, 11 – 22 p.
30. González, L. y Torres, W. 2002. Apunte sobre la fisiología de las plantas cultivadas en condiciones salinas. *Cultivos Tropicales* (en prensa).

31. González, M. 2005. Efecto de la sequía simulada con PEG-6000 sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas de dos variedades de trigo. Cultivos tropicales. 26 (4) 45 - 49.
32. Guerasimov, P. y Glazovskaia, A. 1960. Fundamentos de Edafología y Geografía de los suelos (en ruso). Moscú. Nauta. 440 p.
33. Hamada, A. 1994. Allevation of the adverse affects of NaCl on germination of maise grains by calcium. Biol. Plantarum . 36 (4): 623 – 627 pp.
34. Hasegawa, M.; Bressan, A.; Zhu, K. and Bohnert, J. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 51: 463-499.
35. Hernández, B. y Vargas, J. 2000. Selección familiar en plantas de *Eucalyptus camaldulensis* Den. Evaluado bajo condiciones de salinidad en vivero. Revista Chapingo. Vol VI (2): 137-142 p.
36. Hernández, A.; Ascanio, O.; Morales, M. y Cabrera, A. 2005. Correlación de la nueva versión de Clasificación Genética de los suelos de Cuba con las clasificaciones internacionales: Una herramienta útil para la investigación, docencia y producción agropecuaria. INCA. MES. CEVIM. Universidad Veracruzana, México. Instituto de Suelos. MINAGRI. La Habana. Cuba. 62 p.
37. INDAF: Manual de semillas forestales. La Habana (ditto) (s/a.), p.48 y apéndices
38. Isla, F. & Royo, A. 2001. Interespecific differences in salt-stress tolerance in wheat. Japanese Journal of Crop Science.. 45, (1). 78 - 83.
39. Jeschke, D. 1984.  $K^+$ - $Na^+$  exchange at cellular membranes, intracellular compartmentation of cations, and salt tolerance. En: Salinity Tolerance in Plants. Strategies for Crop Improvement (R.C. Staples, G.H. Toenniessen, eds.) John Wiley and Sons, New York, 37-66 p.
40. Krishnapillai, M. y Sri Ranjan, R. 2005. Evaluating the phytoremediation potential of *Atriplex patula* on salt contaminated soil. Paper No. 05-052. CSAE/SCGR 2005 Meeting Winnipeg, Manitota. June 26 – 29 p.

41. Landis, T.D; Tinus, R. W; Mc Donal; S.E y Barnett, J.P. 2000. The container tree nuser manual, Vol 2 Agric. Handbk.674. Washington, D.C.U.S. Department of agriculture, forest service. 88 p.
42. Läuchli, A. 1984. Salt exclusion: An adaptation of legumes for crops and pastures under saline conditions. En: Salinity tolerance in plants. Strategies for crop improvement (R.C. Staples, G.H. Toenniessen, eds) John Wiley and Sons, New York, 171-187 p.
43. Leidi, O. and Gorham, J. 1998. Alt and water stress tolerant cotton. En: Biotechnology in Agriculture and Forestry, vol. 42 Cotton (Y.P.S. Bajaj, ed.), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 227-242 p
44. Limeres, T, J. 2000. Introducción y evaluación de especies vegetales de usos múltiples que propicien el uso sostenible de los suelos de la región semiárida de Guantánamo. Cuba. p. 9.
45. Linares, E. (s.a). Establecimiento de fincas forestales en el municipio río Cauto, de la provincia Granma, como organización de preservación y fomento de bosques para la garantía de la protección de fuentes de agua en Cuba. [en línea]. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/FAO/19398-06502bdbb4490fa9e952f631fe39f6b98pdf>. [Consulta: 8 de mayo 2012].
46. López, R.; González, L. y García, D. 1999. Influencia de diferentes niveles de salinidad sobre la inhibición del crecimiento en las plántulas de *Phaseolus vulgaris*, L. Cultivos Tropicales. Cuba. 20(1): 27 – 29 p.
47. López, R.; Samson, R.; Vandamme, P.; Eichler - Löbermann, B. y Gómez, E. 2011. Respuesta de combinaciones *Rhizobium* – *Clitoria ternatea* en condiciones de estrés salino en el Valle del Cauto en Cuba. Revista Mexicana Ciencias Pecuarias 2(2):199-207 p.
48. Maathuis, M. and Amtmann, A. 1999. K<sup>+</sup> nutrition and Na<sup>+</sup> toxicity: the basis of cellular K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> ratios. Annals of Botany, 84: 123-133 p.
49. Maggio, A.; Hasegawa, M.; Bressan, A.; Consiglio, F. and Joly, J. 2001. Unravelling the functional relationship between root anatomy and stress tolerance. Australian Journal of Plant Physiology, 28: 999-1004 p.

50. Marschner, H. 1995. Functions of mineral nutrients. In Mineral Nutrition of Higher Plants. Pp 229-312.
51. Martínez, V. y Cerdá, A. 1989. Optimización del manejo de aguas salinas en el cultivo del tomate en invernadero. Agrícola Vergel, 239: 588-592 p.
52. Mashaly, M. 1999. Overview of FAO Global Net Work on Soil management for sustainable use of salt affected soil. Activities of Project TCP/PHI/6712; Integrated Management of Salt affected coastal Soil in the Philippines. Proceeding of the 3th International Workshop on Integrated Soil Management for sustainable. Use of Salt Affected Soil. Bureau of Soils and Water Management. Soil Research and Development Center Deliman Quezon City, Filipinas, 1-36 p
53. Maurel, C. and Chrispeels, J. 2001. Aquaporins. A molecular entry into plant water relations. Plant Physiology, 125: 135-138 p.
54. Medina, M. 2009. Comunicación personal. Profesora Dpto. Botánica. Facultad Forestal y Agronomía. Universidad de Pinar del Río 25/06/09.
55. Meléndez, G y Molina, E. Fertilización foliar. Principios y aplicaciones. Memoria. Febrero 2002. [en línea]. Disponible en: <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Curso%20Fertilizaci%C3%B3n%20Foliar.pdf> [Consulta: 3 de mayo 2013].
56. Mendoza, L.; Vargas, J. y Ramírez, C. 2000. Selección familiar en plantas de *Gliricidia sepium* (Jacq) Kurth ex Walp. En condiciones de vivero para tolerancia a la salinidad del suelo. Revista Chapingo. Vol VI (2): 131-136 p.
57. Meriño, Y. 2011. Influencia de sustratos en la producción de plantas de *Cordia gerancanthus* en vivero de bolsas de polietileno negro en el municipio de Río Cauto. Trabajo de Diploma. Universidad de Granma. 60p
58. Mexal, G. and Landis, D. 1990. Target seedling concepts: height and diameter. En: Target Seedling Symposium. Gen. Tech. USDA, Forest. 17-35 p.
59. Michel, F. and Kaufmann, R. 2001. The osmotic potential of polyethylene glyco-6000. Plant Physiology, 51: 1914-1916 p.

60. Montoya, J. y Cámara, M. 1996. La planta y el vivero forestal. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España, 190 p.
61. Morabito, D.; Mills, D.; Prat, D. and Dizengremel, P. 1974. Response of clones of *Eucalyptus microtheca* to NaCl *in vitro*. Tree Physiology. 14: 201-210 p.
62. Munns, R.; Husain, S.; Rivelli, R.; James, A.; Condon, G.; Lindsay, P.; Lagudah, S.; Schatman, D. and Hare, A. 2002. Salt tolerance of crops and the role of physiologically - based selection traits. Plant and Soil 247: 93-105 p.
63. Munns, R. and M. Tester. 2008. Mechanisms of Salinity Tolerance. Annual Review of Plant Biology. 59: 651-681 p.
64. NC: 52 Determinación de formas móviles de fósforo y potasio. 1999
65. NC: 112 Calidad del suelo. Determinación de la conductividad eléctrica y de las sales solubles totales en suelos afectados por la salinidad. Relación 1:5 suelo – agua. 2001.
66. NC 776: Calidad del suelo - Evaluación de la afectación por salinidad. ICS: 13.080.01; 01.040.13. Mayo 2010. Oficina Nacional de Normalización. Ciudad de la Habana.
67. Obregón, A. 1996. Salinidad: Conceptos. En Salinidad un nuevo concepto. Edición conjunta de la Universidad Autónoma Metropolitana y la Universidad de Colima, en México y el Ministerio de la Agricultura de la República de Cuba e Instituto de suelos de Cuba. 21 – 29 p.
68. Oliet, J. A. 1995. Influencia de la fertilización en vivero sobre la calidad de la planta y la supervivencia en campo de varias especies forestales. Tesis Doctoral. Universidad d Córdoba. ETSIAM. 295 p.
69. Oliet, J. A. 1997. La calidad de la postura forestal en vivero. Editorial Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes de Córdoba; España, 93 p.
70. Oliet, J. A. 2000. La calidad de la planta forestal en vivero. Edita ETSIAM. Córdoba. España. 93 p

71. Navarro, N.; Pérez, J.; Gálvez, V.; Rivero, L. y Otero, L. 2007. Caracterización y evaluación de salinidad. Certificación de Depósito Legal Facultativo de obras protegidas.
72. Peñuelas, L. & Ocaña, L. 1996. Cultivo de la planta forestal en contenedor. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. España. 126 p.
73. Reinhardt, H. and Rost, L. 1995. Salinity accelerates endodermal development and induces an exodermis in cotton seedling roots. *Environmental Experimental Botany*, 35: 563-574 p.
74. Rhoades, A. & Loveday, J. 2004. Potential problems of salinity on the hearth in the next five year. *SIG. Journal of Faculty of Agriculture*. 42 (3-4): 273 – 280 p.
75. Royo, A.; Fernández, M.; González, E.; Puellas, A.; Ramos, R. y Pardos, A. 1997. La calidad de la planta de *Pinus halepensis* Mill destinada a la repoblación forestal. *Revista Montes*. (50): 28-38 p.
76. Royo, A. y Aragües, R. 2003. Establecimiento de nuevos índices de tolerancia de los cultivos a la salinidad: la cebada como caso de estudio. *Investigación Agraria. Producción y Producción Vegetal*, Vol.17 No.3, 410-421 p.
77. Shi, H.; Ishitani, M.; Kim, C. and Zhu, K. 2000. The Arabidopsis thaliana salt tolerance gene SOS1 encodes a putative Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> antiporter. *Proceedings National Academy of Sciences USA*, 97: 6896-6901p.
78. Subbarao, V. 1990. Strategies and scope for improving salinity tolerance in crop plants. In: *Handbook of plant and crop stress*. Second edition. Edited by Pessarakli M. Ed. Marcel Dekker, Inc., New York. E.U.A. 1069-1087 p
79. Thomson, B. 1985. Seedling morphological evaluation. What cant you tell by looking in: *Evaluating seedling quality: principales, procedure and predictive abilities of mayor tesr*. M.L. Duryyea eds. Forest Research Laboratory. Oregon State University. 59 – 64p.
80. Torres, A. s.a Consideraciones sobre la fisiología de la nutrición mineral en las plantas superiores. La Habana. Universidad Agraria de la Habana. 63 p.



81. Wyn-Jones, R. y Gorham, J. 1983. Osmoregulation. En: Encyclopedia of Plant Physiology, vol. 12C. Physiological Plant Ecology III (O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond, H. Ziegler, eds) Springer-Verlag, Berlin, pp. 35-58
82. Yeo, R. 1998. Molecular biology of salt tolerance in the context of whole-plant physiology. Journal of Experimental Botany 49: 915-929 p.
83. Yuen, G. 2004. Evaluation of a crop water stress index for detecting water stress in water wheat in the North China Plain. Agricultural Water Management, 64(1): 29 – 40 p.

## ANEXOS

### Anexo 1: Propiedades químicas determinadas en los suelos empleados

T	CE dS/m- 1	E	% SSD	pH en H <sub>2</sub> O	E	MO %	E	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100g	E	K <sub>2</sub> O mg/100g	E	T cmol/Kg	E	Cationes intercambiables cmol/Kg			
														Ca	Mg	Na	K
1	0,50	DS	0,1600	7,47	Neutro	2,60	Medianamente humificados	2,393	Baja*	11,11	Muy Baja**	34,96	Alta	31,08	8,82	1,54	0,195
2	0,49	DS	0,1568	7,52	Ligeramente Alcalino	2,52	Medianamente humificados	2,181	Baja*	8,8	Muy Baja**	40,28	Alta	32,34	8,32	1,45	0,195
3	0,31	DS	0,0992	7,77	Ligeramente Alcalino	4,48	Humificados	1,680	Muy Baja**	6,8	Muy Baja**	38,38	Alta	26,04	8,54	1,80	0,111
4	0,24	NS	0,0768	7,11	Neutro	4,72	Humificados	1,612	Muy Baja**	6,0	Muy Baja**	38,38	Alta	22,68	11,90	2,29	0,084

**Leyenda:** T: Tratamiento; CE: Conductividad Eléctrica, E. Evaluación; DS: Débil salino; NS. No salino; SSD: Sales Solubles Disueltas; MO: Materia Orgánica; T: Capacidad de Intercambio Catiónico